DIE NATURWISSENSCHAFTEN

16. Jahrgang | 10. Februar 1928 | Heft 6

Über die allgemeine Bedeutung des mathematischen Denkens[1].

Von R. COURANT, Göttingen.

Unter den Bezirken wissenschaftlichen Denkens nimmt die Mathematik sicherlich eine Sonderstellung ein. Trotz ihrer engen Verknüpfung mit den Naturwissenschaften ist sie doch keine von diesen; mathematische Objekte sind nicht Naturphänommene, sondern gehören dem Bereiche des Geistigen an. Aber noch weniger darf man die Mathematik zu den Geisteswissenschaften zählen, denen bei aller Willkür der Abgrenzung und bei aller Vielgestaltigkeit der Gegenstände und Methoden doch eines gemeinsam ist: die Einstellung auf den *Menschen* als geistige Persönlichkeit. Nichts liegt dem mathematischen Denken ferner als eine solche Einstellung: es strebt vielmehr zur Erkenntnis absoluter, vom Ich losgelöster Wahrheit und verkörpert diese vom Menschlich-Persönlichen fortgerichtete Tendenz schroffer als jede der Naturwissenschaften.

Vielleicht liegt hierin eine der tiefsten Ursachen für den Mangel an Popularität und die außerordentliche Verschiedenheit der Wertschätzung, welche die Mathematik bei verschiedenen Menschen, Völkern und Zeiten genießt. Unberührt von solchen Schwankungen hat die mathematische Wissenschaft durch Jahrtausende ihre ungebrochene Lebenskraft und Fruchtbarkeit bewiesen. Aber wenn wir in dem heutigen krisenhaften, von Spannung erfüllten Zustande des geistigen Lebens uns über die allgemeine Bedeutung des mathematischen Denkens Rechenschaft geben wollen, so dürfen wir uns nicht mit einem solchen Hinweis auf die stolze Vergangenheit begnügen.

Wir müssen trachten, die Motive und Ziele des mathematischen Denkens selbst in ihren Grundzügen zu erfassen. Dieser Aufgabe will ich heute zu dienen versuchen und dabei an die historische Entwicklung anknüpfen.

So wenig Zufall und Mode im einzelnen aus dem geschichtlichen Entwicklungsprozeß der Mathematik ausgeschaltet erscheint, so deutlich offenbart sich doch die innere Notwendigkeit und Konsequenz des mathematischen Denkens, wenn man die großen Linien des geschichtlichen Werdens betrachtet. Charakteristisch hierfür ist schon die antike oder genauer die griechische Mathematik. Die Intensität und zeitliche Konzentration dieser großartigen Leistung griechischen Geistes fordert noch heute unsere Bewunderung heraus und bietet der historischen Forschung immer neue Probleme und Einsichten in das Wesen wissenschaftlicher Entwicklung überhaupt. Mathematisches Denken an sich ist wohl ebenso alt wie menschliche Kultur. Schon die einfachsten Fragen des Messens und die nächstliegenden Probleme der Zeitrechnung drängten zu mathematischen Begriffsbildungen. Aber trotz allen solchen Ansätzen bei den verschiedenen Kulturvölkern des Altertums haben doch erst die Griechen aus der Mathematik eine *Wissenschaft* gemacht, die um ihrer selbst willen, aus der Freude an der absoluten Erkenntnis heraus betrieben wurde und losgelöst von ursprünglichen Anlässen und praktischen Zwecken ihre eigene Bedeutung hat. In erstaunlich kurzer Zeit haben die griechischen Denker den Weg gefunden, der von der Notwendigkeit quantitativer Betrachtungen im täglichen Leben bis zur freien Souveränität der reinen mathematischen Begriffsbildung führt, wie sie ihren klassischen Ausdruck in Euklids Elementen findet. Hier ist der Zusammenhang mit der physischen Realität sozusagen völlig gelöst; auf dem Boden der Axiome, deren Geltung außer Diskussion bleibt, wird in logisch zwingender Weise das Gebäude errichtet, das noch nach Jahrtausenden als Musterbeispiel mathematisch strenger Form seine unmittelbare Wirkung behauptet hat und dessen Inhalt bis in die jüngste Zeit hinein den mathematischen Schulunterricht in der ganzen Welt entscheidend bestimmte.

Zweifellos führte die Entwickelungslinie im Altertum von der konkreten lebensnahen, stoffgebundenen, angewandten Mathematik erst schrittweise zu Verallgemeinerung und Abstraktion, zur reinen auskrystallisierten mathematischen Form. Mit vollständiger Lückenlosigkeit und Klarheit jedoch können wir diese Entwickelungstendenz erst in der neueren Mathematik verfolgen, wenn wir auch als handelnde Personen in ihr nur schwer eine objektive Haltung gewinnen können. Während bei der griechischen Mathematik, wie sie uns heute in der perspektivischen Verkürzung erscheint, als erstes die axiomatische Strenge der Form und die bewußte Entfernung von den Anwendungen frappiert, beginnt die neue, nach langen und langsam sich auswirkenden Vorbereitungen im siebzehnten Jahrhundert mit unwiderstehlicher Macht einsetzende Entwicklung ganz am anderen Ende. Lebensvollste Verflechtung physikalischer, astronomischer, technischer Gedanken und Probleme mit der Mathematik ist Selbstverständlichkeit; die Wechselwirkung aller dieser Wissenschaften ist die reichste Quelle für den sich entfaltenden Strom der modernen Analysis.

[1] Vortrag, gehalten bei der Tagung Deutscher Philologen und Schulmänner, Göttingen, September 1927.

Getragen von einer kleinen Schar genialer universeller Geister, denen nichts ferner lag als Spezialistentum oder gar Beschränkung auf reine abstrakte Mathematik, eroberte das mathematische Denken wie in einem Sturm der Ekstase einen bis dahin unerhört großen neuen Machtbereich, dem gegenüber der Bezirk der antiken „elementaren" Mathematik winzig erscheinen mußte. Was nach der entscheidenden Pionierarbeit von Männern, wie DESCARTES, FERMAT, BARROW, NEWTON und LEIBNIZ durch die nächsten Generationen bis zum Ende des achtzehnten Jahrhunderts zutage gefördert wurde, insbesondere die Leistungen von LEONHARD EULER, das sind Schätze, die bis heute noch nicht voll ausgemünzt werden konnten.

Aber dieser große Vorstoß des expansiven mathematischen Denkens hätte schließlich ins Leere verpuffen und in sich zusammenbrechen müssen, wenn er nicht seine Ergänzung hätte finden können in einer gewaltigen Arbeit der Selbstbesinnung und Konsolidierung durch eine Entwickelung, welche auch die moderne Mathematik wieder dem griechischen Ideal der krystallisierten axiomatischen Wissenschaft annäherte. Zwischen der begrifflich-gedanklichen Durchdringung und dem rasch wachsenden Inhalt der mathematischen Wissenschaft klaffte vom Beginn der Differential- und Integralrechnung an ein anscheinend unüberbrückbarer Abgrund. Die produktive Phantasie genialer Forscher, die mit sicherem Instinkt ihren Weg auch durch Dunkelheit und Nebel ohne den Kompaß wohlbegründeter Methodik fanden, löste sich vom Boden klassischer Strenge, angefeuert von der Fülle der Anwendungen und Ergebnisse. Zweifel und Kritik wurden abgetan wie mit den berühmt gewordenen Worten von D'ALEMBERT: „Allez, Monsieur, allez, et la foi vous viendra." Der Zauber der unendlich kleinen Größen übte trotz oder vielleicht gerade wegen seiner Unklarheit eine suggestive Kraft aus. Und doch war der kritische mathematische Geist, der vom Fühlen und Glauben zum Wissen und Verstehen drängt, nie ganz eingeschlafen. Er mußte sein Recht immer entschiedener fordern, je deutlicher die scheinbaren Widersprüche hervortraten, welche das skrupellose Operieren mit dem Begriffe des Unendlichen mit sich brachte, und je mehr die neue Mathematik auf der anderen Seite aufhörte, Angelegenheit einer kleinen Gruppe instinktsicherer Geister zu sein.

Es ist wohl kein Zufall, daß der Umschwung der mathematischen Einstellung von der naiven Produktivität zur strengen Wissenschaftlichkeit zeitlich parallel geht mit den großen Umwälzungen, welche die europäische Welt seit dem Beginn der französischen Revolution in geistiger und sozialer Hinsicht durchmachte.

Bis dahin waren im achtzehnten Jahrhundert die Träger des mathematischen Lebens vielfach Mitglieder der höfischen Akademien gewesen, fast niemals Lehrer an den Universitäten. Das Briefschreiben war ein Hauptmittel des Gedankenaustausches; Fachzeitschriften existierten nicht, und abgesehen von den Akademieabhandlungen bestand die ganze Literatur aus wenigen grundlegenden Werken, voran den Büchern von EULER. Die Mathematik an den Universitäten blieb in ihrem Niveau weit hinter diesen Werken zurück. Selbst ein Geist wie KANT, dessen Wirken so starke Beziehungen zu mathematischen Dingen hatte, war von einer wirklichen Kenntnis des mathematischen Standards seiner Zeit weit entfernt.

In dem Augenblick aber, wo mit der Befreiung und materiellen Hebung der unteren und mittleren sozialen Schichten eine breitere Masse sich um wissenschaftliche Bildung zu bemühen beginnt, ändert sich das Bild. Rasch ergibt sich der für das wissenschaftliche Leben des modernen Europa so charakteristische enge Kontakt zwischen Forschung und Lehre. Für die mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächer wird er zum erstenmal in vorbildlicher Weise an der École Polytechnique in Paris hergestellt, trägt dort weithin sichtbare glänzende Früchte und stellt sich dann auch in Deutschland nach dem Vorgange der klassischen Philologie ein.

Entscheidend in Deutschland wird hierfür die Neuordnung des höheren Schulwesens und die damit zusammenfassende Schaffung des Oberlehrerstandes, für welche eine gründliche auf der Höhe der Zeit stehende wissenschaftliche Durchbildung gefordert wird. An der Aufgabe der Oberlehrerausbildung entfalten sich ganz neue Notwendigkeiten und Möglichkeiten des Universitätsunterrichtes. Das Niveau des Universitätsbetriebes steigt rapid, und in dem Oberlehrerstande entsteht ein verhältnismäßig großes mathematisches Publikum, aus dessen Mitte bald wieder Forscher hohen Ranges hervorgehen; so ist diese wechselseitige Wirkung zwischen Forschung und Lehre bis heute in der Mathematik der wichtigste Hebel des Fortschrittes geblieben. Zu den Oberlehrern treten bald die Ingenieure in rasch wachsender Zahl, und damit entsteht neuer starker Bedarf nach solider mathematischer Hochschulausbildung.

Eine solche Verbreiterung der höheren mathematischen Bildung forderte systematische Grundlagen und klare Grundbegriffe. Genialer Instinkt, der schließlich auch über logische Lücken zu richtigen Zielen führte, ist kein lehrbares und lernbares Massengut. So hätten allein diese äußeren Gründe die Bemühungen der Mathematiker stärker auf die Grundlegung und Konsolidierung der Analysis lenken müssen, wenn nicht schon von selbst die innere Tendenz der Wissenschaft diesen Weg mit zwingender Notwendigkeit vorgezeichnet hätte. In der Tat tritt seit dem Ende des achtzehnten Jahrhunderts neben die immer weiter fortschreitende inhaltliche Ausgestaltung der mathematischen Wissenschaften die zielbewußte Arbeit an den

Fundamenten. Der völlige Erfolg dieser Bestrebungen ist ein Hauptmerkmal für die Fortschritte der Mathematik im neunzehnten Jahrhundert. Zunächst war die wichtigste Aufgabe, die neue Analysis, d. h. die Differential- und Integralrechnung und ihre weiteren Konsequenzen von aller Mystik des Unendlich-Kleinen zu befreien. Die klare Herausarbeitung des Grenzwertbegriffes erwies sich rasch als völlig ausreichende und tragfähige Grundlage des ganzen Gebäudes. Man blieb aber bei diesem schon im wesentlichen von CAUCHY erreichten Standpunkt nicht stehen; man legte die Fundamente tiefer und gelangte erst zu einem gewissen Abschluß, als es vor allem durch die Bemühungen von WEIERSTRASS gelungen war, die moderne Analysis als ein System von Definitionen, Axiomen und Beweisen darzustellen, wie die euklidische Geometrie, unabhängig von Physik und Technik und anderen Anwendungen. Kurzum, für die neue größere Welt der Analysis wurde prinzipiell der Standpunkt der klassischen griechischen Mathematik wieder erreicht.

Aber auch hierin erschöpft sich keineswegs die kritische Leistung der neuesten Epoche. Zwei weitere mit der geschilderten und miteinander verflochtene Entwickelungslinien haben zu einer noch wesentlich vertieften Einsicht in die Grundlagen und das Wesen mathematischer Zusammenhänge geführt. Beide berühren sich mit philosophisch-erkenntniskritischen Fragestellungen nach dem Wesen der Gültigkeit mathematischen Denkens überhaupt. Ich meine hier einmal die allgemeine Mengenlehre, die erst in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts von G. CANTOR begründet wurde und mit ihren allgemeinen Aussagen und Methoden zunächst auch in weiteren Kreisen der Mathematiker auf verständnislose Ablehnung traf. Ihr Ziel ist die Klärung des Begriffes des *Aktual-Unendlichen* (d. h. der aus unendlich vielen Dingen bestehenden Gesamtheiten), soweit er in der Mathematik eine Rolle spielt. Heute kann man sagen, daß die durchschlagenden neuen Ideen dieser Mengenlehre die ganze theoretische Mathematik durchdrungen haben und neues Licht auch über verhältnismäßig elementare Gegenstände verbreiten, so daß heute ein Mathematiker ohne Kenntnis der Mengenlehre kaum denkbar erscheint. Daß die Mengenlehre über die Fachkreise weit hinaus das Interesse auf sich gelenkt hat, insbesondere das der Philosophen, ist natürlich. Denn in ihr ist die Trennungslinie zwischen dem eigentlichen mathematischen Gegenstand und dem allgemeinen Objekt erkenntniskritischer und logischer Untersuchung schwer zu ziehen. Die Paradoxien, welche mit dieser Schwierigkeit der Grenzsetzung zusammenhängen, bilden noch bis heute eines der ernstesten Probleme der Grundlagenforschung. Ihre Lösung erfolgt von der mathematischen Seite her auf Grund der modernen axiomatischen Methode, und damit kommen wir zu dem Thema, welches den Inhalt der zweiten oben genannten Entwicklungslinie ausmacht.

Erst diese Methode der Axiomatik rührt an die tiefsten Wurzeln des mathematischen Denkens und stellt das Wesen des Mathematischen völlig klar heraus. Sie ist sicherlich die reifste Frucht auf dem Boden rein mathematischer Erkenntnis, und ich sage nicht zuviel damit, daß viel späteren Generationen die heutige axiomatische Methode ebenso als die Krystallisation der neueren Mathematik erscheinen wird, wie EUKLIDS Elemente der konzentrierte Ausdruck des griechischen mathematischen Denkens gewesen sind. Wir in Göttingen dürfen stolz darauf sein, daß der Euklid unserer Zeit DAVID HILBERT heißt und in Göttingen wirkt.

Die moderne Axiomatik nimmt historisch ihren Ausgang von der nichteuklidischen Geometrie. Schon im Altertum war es aufgefallen, daß unter den geometrischen Axiomen, die EUKLID aufstellt, eines eine Sonderstellung einzunehmen schien, das Parallelenaxiom, welches besagt: in einer Ebene gibt es zu einer Geraden durch einen außerhalb von ihr liegenden Punkt eine und nur eine Parallele. Man hat das Gefühl, daß diese Aussage kein echtes Axiom sei, sich vielmehr aus den anderen heraus mathematisch beweisen lassen müßte. Doch alle Versuche zu solchen Beweisen, insbesondere die im achtzehnten Jahrhundert gemachten Anstrengungen, erreichen zwar Nebenresultate von großem Interesse, aber nicht das gesteckte wirkliche Ziel. Erst im neunzehnten Jahrhundert fand das Parallelenproblem eine ebenso kühne und überraschende wie vollständige Lösung durch die unabhängigen Untersuchungen von LOBATSCHEWSKI in Kasan und BOLYAI in Budapest, denen der einsame GAUSS in seinen von ihm niemals veröffentlichten Gedankengängen schon vorausgeeilt war. Man kann den Grundgedanken dieser Untersuchungen folgendermaßen fassen: Wenn das Parallelenaxiom beweisbar ist, dann muß die Annahme seiner konträr entgegengesetzten Aussage zu einem Widerspruch führen. Läßt sich jedoch zeigen, daß eine solche dem Parallelenaxiom widersprechende Aussage nicht im Widerspruch zu den übrigen Axiomen der Geometrie steht, so ist bewiesen, daß es aus diesen nicht folgen kann, daß es also von den übrigen Axiomen unabhängig ist. Um nun diesen Widerspruchslosigkeitsbeweis zu führen, baut man sich eine Geometrie auf, d. h. ein System von Beziehungen zwischen Punkten, Geraden usw., für welches alle Verknüpfungsaxiome außer dem Parallelenaxiom erfüllt sind, dieses letztere aber gerade nicht. Wenn dieser Aufbau in einer widerspruchsfreien Weise gelingt, dann ist damit der Unabhängigkeitsbeweis erbracht. In der Tat konnten die genannten Forscher den Aufbau einer solchen Geometrie durchführen und haben damit die alte Frage endgültig beantwortet. Dies war in mehr als einer Hinsicht eine beinahe revolutionierende Wendung, die sich gegenüber den natürlichen Trägheitswiderständen

erst langsam auswirken konnte. Zum ersten Male war hier klar das Problem gelöst, die logische Unabhängigkeit verschiedener Tatsachen voneinander streng zu beweisen, und damit eröffnen sich ganz neue grundsätzliche Möglichkeiten. Voll ausgeschöpft wurden diese erst nach Jahrzehnten in den berühmten „Grundlagen der Geometrie" von HILBERT, wo für das ganze Axiomensystem der Geometrie die Frage nach dem Zusammenhang bzw. der gegenseitigen Abhängigkeit oder Unabhängigkeit der Axiome in prinzipiell derselben Weise gelöst wird, wie es vorher nur im Hinblick auf das Parallelenaxiom geschehen war.

Aber die HILBERTsche Axiomatik führte noch einen wesentlichen Schritt weiter; sie beantwortete nicht nur die Frage nach den Zusammenhängen der geometrischen axiomatischen Aussagen, sondern sie warf auch die viel tiefer gehende Frage nach der *logischen Widerspruchslosigkeit der Axiomensysteme* auf, eine Frage, die viel entschiedener mit philosophisch-grundsätzlichen Einstellungen zusammenhängt als alles, was bis dahin in der Mathematik zutage getreten war. Wenn die mathematischen Tatsachen und insbesondere die Axiome im landläufigen Sinne „richtig" sind, wenn sie irgendeine Art objektiver, naturhafter „Geltung" haben, dann ist ja offenbar eine solche Frage ganz sinnlos. Zwischen tatsächlich bestehenden Sachverhalten einer objektiven Sphäre können doch selbstverständlich keine Widersprüche bestehen. Wenn man daher an der These der KANTschen Philosophie allzu wörtlich festhält und in den Axiomen der Mathematik die Beschreibung objektiver Sachverhalte in einer Sphäre der reinen Anschauung erblicken will, so bleibt für die HILBERTsche Fragestellung kein Raum. Ähnliches gilt für den gerade neuerdings mit großer Intensität verfochtenen sog. „intuitionistischen" Standpunkt. Auch nach ihm bringt die Mathematik Gegenstände einer rein anschaulichen Sphäre zur Darstellung und soll mit schärfster Rigorosität alles verbannen, was nicht in eine gewisse aus einer solchen Einstellung heraus aufgestellte Glaubenslehre hineinpaßt.

Kein Zweifel, daß die Aufrechterhaltung oder der Sieg dieses Standpunktes gleichbedeutend mit der Vernichtung der Mathematik oder doch wenigstens sehr großer und absolut lebenswichtiger Teile von ihr wäre und daß auch in sich genommen dieser Standpunkt trotz der Suggestivkraft seines heutigen genialen Verfechters unhaltbar ist. Das Problem der Geltung und Richtigkeit mathematischer Aussagen ist nicht so einfach durch den Hinweis auf die Intuition zu beantworten. Schon die nichteuklidische Geometrie zeigte das. Hätte KANT etwas von ihr wissen können, so würde dieses Wissen sicherlich nicht ohne Einfluß auf seine Gedankengänge und Formulierungen geblieben sein, und jedenfalls geht es nicht an, die nichteuklidische Geometrie als zwar logisch widerspruchsfrei, aber objektiv falsch für die sog. „Außenwelt" abzutun, um damit die These von KANT zu retten. Dies ist um so weniger überzeugend, als die Vorstellungen und Tatsachen der nichteuklidischen Geometrien sich weitgehend bei der Beschreibung von Naturphänomenen und anderweit bewährt haben.

HILBERT hat die angedeuteten, in der Frage nach dem Wesen des Mathematischen wurzelnden Schwierigkeiten durch eine Konzeption von größter Kühnheit und Tragweite überwunden, indem er auf den gedanklichen Vorarbeiten fußte, die von DEDEKIND u. a. in der Klärung des Zahlbegriffes und anderer Grundfragen geleistet worden war. Das Problem der objektiven Gültigkeit mathematischer Aussagen wird dadurch gelöst, daß diese Frage an sich als sinnlos und sinnwidrig erkannt wird. Reine mathematische Begriffe lassen sich nicht definieren, sie *haben* schließlich keinen anschaulich aufweisbaren gegenständlichen Sinn an sich, sondern sie *gewinnen* erst diesen Sinn durch ihre wechselseitigen Beziehungen, welche durch die Axiome festgelegt werden. Durch das eigentümliche, ebenfalls einer näheren Analyse und Charakterisierung fähige mathematische Schließen erhält man auf dieser Grundlage ein Gewebe von mathematischen Zusammenhängen, welches die mathematische Theorie ausmacht. Die Frage nach der Gültigkeit der mathematischen Theorie für die physikalische Welt ist lediglich damit gleichbedeutend, ob das gewonnene Netz von Begriffen und Zusammenhängen zur Darstellung der Tatsachen jener Naturwelt paßt oder nicht. Eine Frage, die trotz ihrer entscheidenden Wichtigkeit außerhalb des eigentlichen rein mathematischen Bezirkes bleibt. Wenn nun aber die mathematischen Begriffe in sich keine sachliche, objektive Realität besitzen, die sich durch Aufweisung innerhalb einer rein anschaulichen Sphäre fassen läßt, so gewinnt das Problem der Widerspruchslosigkeit eine eminente Bedeutung. Man kann geradezu sagen, daß an Stelle der objektiven Realität die Widerspruchsfreiheit der Axiome tritt und daß man als Grundproblem einer mathematischen Disziplin den Nachweis dieser Widerspruchsfreiheit anzusehen hat, d. h. den Beweis, daß aus den betreffenden Axiomen durch mathematisches Schließen niemals widersprechende Aussagen gewonnen werden können. Das erste Beispiel, an welchem ein solches Problem in Angriff genommen wurde, waren naturgemäß die Grundlagen der Geometrie.

Hier wurde der Beweis geführt, indem man zeigte, daß ein Widerspruch in den Grundaxiomen der Geometrie einen Widerspruch in den Axiomen der Arithmetik nach sich ziehen müßte; von diesen letzteren aber setzte man zunächst ohne weiteren Beweis die Widerspruchslosigkeit voraus. Erst in neuester Zeit ist es HILBERT gelungen, durch konsequente Ausgestaltung des eben angedeuteten Grundgedankens das Problem der Widerspruchsfreiheit auch für die Arithmetik und überhaupt für die ganze Mathematik anzugreifen. Ich muß mich hier mit einer bloßen Andeutung begnügen.

Die HILBERTsche Theorie, deren Problem für den oberflächlichen Betrachter beinahe an die Aufgabe erinnert, sich selbst am Schopfe aus dem Sumpf zu ziehen, beruht auf folgenden Schritten:

Zunächst wird der inhaltliche Bestand der betreffenden mathematischen Disziplin, etwa der Zahlentheorie, auf ein System von Axiomen zurückgeführt und deren Aussagen vollständig formalisiert, d. h. ihrer inhaltlichen Bedeutung entkleidet und lediglich als gegenseitige Beziehungen zwischen Symbolen gedeutet. Diese Beziehungen sowie die Regeln und Schemata des mathematischen Schließens werden in einer symbolischen Zeichensprache ausgedrückt, einer Begriffsschrift, die keine Worte und Sätze mehr kennt, wie sie einst LEIBNIZ vorgeschwebt hatte. Nunmehr läßt sich jeder mathematische Beweis umschreiben in ein Schema solcher mathematischer Symbole. Die Untersuchung dieser Schemata oder Beweisfiguren nennt HILBERT die Metamathematik. Ein Widerspruch in den Axiomen der betreffenden Disziplin müßte in einem solchen Beweisschema einen direkt aufweisbaren formalen Ausdruck finden. Nun kann man diese Beweisfiguren als anschaulich unmittelbar aufweisbare greifbare Gegenstände auf ihre Struktur hin untersuchen, und eine solche Untersuchung ist tatsächlich imstande, den Widerspruchslosigkeitsbeweis zu führen, d. h. zu zeigen, daß gewisse, einen Widerspruch zum Ausdruck bringende Strukturen in diesem Schema unmöglich sind. Wir sehen also, daß die HILBERTsche Beweistheorie das anschauliche Element aus der Mathematik keineswegs ausschaltet; im Gegenteil, es kommt ihm die höchste Bedeutung zu; nur wird es im Gegensatz zu dem Intuitionismus in eine andere Schicht verlegt; nicht die Gegenstände der mathematischen Aussagen sind anschaulich aufweisbar, sondern die in der Beweistheorie schematisch dargestellten mathematischen Zusammenhänge, und ihre Untersuchung ist also unmittelbar durch Operieren in der anschaulichen Sphäre möglich. So bleibt gewissermaßen die HILBERTsche Theorie durchaus im Rahmen einer kritisch-idealistischen philosophischen Einstellung.

Ich bin fest davon überzeugt, daß diese Theorie, die HILBERT mit weitgehender Unterstützung seines Mitarbeiters BERNAYS entworfen hat und deren Ausarbeitung im einzelnen noch ein schweres Arbeitsprogramm in sich birgt, eine noch nicht absehbare Bedeutung für die allgemeine philosophische Frage nach dem Wesen menschlicher Erkenntnis besitzt.

Überblicken wir noch einmal den langen Weg, der von den mathematischen Anfängen zu diesen Gefilden höchster Abstraktion führt, so tritt uns deutlich die allgemeine Entwickelungstendenz mathematischen Denkens vor Augen. Am Anfang das konkrete, individuelle, sehr häufig den Anwendungen entstammende Problem, und von dort aus ein allmähliches Aufsteigen zu immer größerer Allgemeinheit und methodischer Reinheit, bis schließlich der stoffliche Einzelinhalt abgestreift ist und nur noch auskrystallisierte mathematische Form übrigbleibt. Die dionysische Phase einer mathematischen Disziplin geht allmählich in die apollinische über. Dieser Prozeß des Sublimierens und der Verschiebung des Interesses vom Konkreten zum Abstrakten hin ist der natürliche innere Rhythmus, nach welchem sich im kleinen und im großen mathematisches Denken vollziehen muß, unerbittlicher und radikaler als in anderen Gebieten des geistigen Lebens und der Kunst.

Es liegt hierin eine der Hauptquellen für immer neue Kraftentfaltung. Mit jeder Stufe, die man in einem solchen Verallgemeinerungsprozeß höher steigt, öffnen sich neue Zusammenhänge vor bisher Getrenntem; Probleme, die vorher unangreifbar schienen, weil man nicht verstand, das stofflich Zufällige vom innerlich notwendigen begrifflichen Kern zu sondern, werden auf die einfachste Art lösbar. Der vorhandene Bestand der Wissenschaft, vielleicht schon in Gefahr, in Einzelheiten auseinanderzufallen, erfährt Vereinfachung und Zusammenraffung. Zu den Ausgangspunkten der Entwicklung und zu den Anwendungen zurück eröffnen sich dem rückschauenden Blick neue einfache Wege und Mittel der Beherrschung.

Aber es ist nicht zu leugnen, daß in der allgemeinen, auf fortschreitende Abstraktion zielenden Tendenz auch ein nicht geringes Gefahrenmoment liegt. Das vom harten Stoff der Wirklichkeit unbeschwerte Gedankenspiel der reinen Abstraktion übt auf viele Gemüter einen unwiderstehlichen Zwang aus und läßt zuweilen vergessen, daß letzthin alle Mathematik mehr oder weniger unmittelbar aus dem Konkreten herausgewachsen ist und die Verbindung mit dem konkreten Stoffe des Lebens nicht verlieren darf, wenn die Wissenschaft als Ganzes in einem solchen Entwickelungsprozeß nicht zu reiner lebensferner Form erstarren will. Der mathematischen Wissenschaft als solcher darf man heute in dieser Hinsicht eine so glückliche Prognose stellen wie jemals. Neue triebkräftige lebendige Probleme werden heute in großer Zahl von Physik, Technik und in wachsendem Maße auch von der Biologie der Mathematik gestellt. Das Bedürfnis nach mathematischer Durchdringung dieser Wissenszweige ist in raschem Steigen begriffen. Es wäre ein Unglück, wenn die berufenen Vertreter der Mathematik ihren Blick von diesem großen, aus den Anwendungen herauswachsenden Aufgabenkreise abgewandt halten und ihn allzu starr nach der einen Seite der Abstraktion hin richten wollten. Sie würden in einer notwendig entstehenden Reaktion durch eine anders geartete Schicht verdrängt werden, die vielleicht allzu ausschließlich nach der Seite der Anwendungen und der Zweckmäßigkeit hin orientiert ist. Manches von dem erreichten wissenschaftlichen Standard und die Kontinuität der Entwickelung würde dann bedroht sein. Wir sind heute vielleicht

in höherem Maße als frühere Generationen mit der Verantwortung dafür belastet, daß zwischen theoretischer und angewandter Betrachtungsweise in der Mathematik ein gesundes Gleichgewicht hergestellt und aufrechterhalten wird.

Ich kann an dieser Stelle nicht anders als nur sehr allgemein und skizzenhaft die Probleme und Sorgen kennzeichnen, welche uns Mathematiker bewegen. Aber ich darf es nicht unterlassen, vor diesem Kreise noch eine Frage zu berühren, welche scheinbar mit der Mathematik als *Wissenschaft* nichts zu tun hat und doch so eng an ihren Lebensnerv greift; ich meine das Problem: Mathematik und Schule. Ich kenne diese Frage zwar aus eigener Erfahrung nur als leidendes Objekt, nicht als handelndes Subjekt und fühle mich nicht dazu befugt, über Einzelheiten zu sprechen; aber ich weiß wohl, welche Fortschritte und Umwälzungen des mathematischen Schulwesens seit meiner Schulzeit durch die Arbeit so vieler Männer, vor allem durch die Pioniertätigkeit von FELIX KLEIN sich vollzogen haben. Und trotz allen diesen Fortschritten: Wenn auch dem heutigen mathematischen Forscher angesichts eines blühenden wissenschaftlichen Lebens um das Schicksal der Mathematik als Wissenschaft nicht bange zu sein braucht, so muß er sich doch dessen bewußt sein, daß sie als Element der Bildung und Erziehung durchaus der schützenden Fürsorge bedarf. Was bedeutet denn überhaupt Wissenschaft als solches Element? Wenn ich auf ein Wort von KANT anspielen darf: Sie soll den Blick des jungen Menschen auf das Sittengesetz in seinem Innern und auf den gestirnten Himmel über ihm lenken. In dem Hinweis auf diese zweite Blickrichtung liegt die große erzieherische Kraft, welche den mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern innewohnt, viel mehr als in dem formalen Element oder der praktischen Nützlichkeit. Läßt man den exakten Wissenschaften an den Schulen nicht genug Raum, so wird man eine Generation erziehen, welche in übertriebenem, weichlichem Persönlichkeitskultus vergißt, daß Persönlichkeit nur dann höchstes Glück der Erdenkinder ist, wenn sie sich dienend dem Sachlichen, Überpersönlichen unterordnen kann.

Vielleicht in keinem Fache hängt der Erfolg des Unterrichtes so stark von der Individualität des Lehrers ab wie in der Mathematik. Um so mehr müssen wir Hochschullehrer uns immer wieder die Frage stellen, ob denn von unserer Seite her genug geschieht, damit Lehrer herangebildet werden, welche der hohen Aufgabe wissenschaftlich gewachsen sind. Es ist ja in den letzten Jahrzehnten so viel über die Kluft zwischen Schulmathematik und Hochschulmathematik gesprochen worden, daß ich nicht noch einmal darauf einzugehen brauche. Von seiten der Schule ist in dieser Zeit seit KLEINS Eingreifen viel geschehen, um den früheren Zustand der Stagnation zu überwinden und die Kluft einzuebnen; die Hochschule hat in dieser letzten Hinsicht entschieden weniger geleistet. Was sie leisten kann und muß, das läßt sich kaum in den Rahmen einer allgemeinen organisatorischen Reform spannen; aber eines kann man gewiß allgemein sagen: es hat sich allmählich ein Zustand herausgebildet, bei welchem es viel zu wenig Kontakt zwischen Dozent und Student gibt. In viel zu hohem Maße beherrscht das Vorlesungswesen den mathematischen Hochschulunterricht. Gewiß haben höhere Vorlesungen, die einen schwierigen Stoff frei gestalten, auch dann einen hohen Wert, wenn sie über die Köpfe der Durchschnittshörer hinweggehen. Aber trotzdem müssen wir auf das Allerentschiedenste einen Zustand anstreben, bei welchem der Student nicht bloß oder in erster Linie wehrloser passiver Zuhörer bei Professorenmonologen ist, sondern in lebendiger Wechselwirkung zu spontaner wissenschaftlicher Arbeit herangezogen wird. Seminare, Übungen und vielleicht neue akademische Unterrichtsformen müssen hierzu das Hauptmittel sein. Erst wenn wir unsere Studenten, die späteren Lehrer, auf ein wissenschaftliches Niveau bringen, von dem aus sie später die Gegenstände der Schulmathematik souverän beherrschen, dürfen wir uns zufrieden geben. Leider sind wir von diesem Ziele weit genug entfernt. Nur gar zu oft muß man es erleben, daß ungeeignete Menschen viele Jahre lang studieren oder vielmehr Vorlesungen usw. fleißig anhören, ohne daß sie selber auch nur eine Ahnung von der völligen Ergebnislosigkeit des Studiums erlangen. Wenn diese bedauernswerten Opfer der akademischen Lernfreiheit dann auch noch das Glück haben, ihre Examina zu bestehen — es soll so etwas vorkommen — dann entstehen jene unglücklichen Typen von Mathematiklehrern, welche jedem begabten Sekundaner gegenüber völlig hilflos sind und beinahe schlimmer wirken als eine entsprechende Figur aus dem philologisch-historischen Lager.

Solche Fälle müssen die Universitäten auf ihr Schuldkonto nehmen. Es ist hier nicht die Zeit, Wege und Möglichkeiten der Abhilfe zu erörtern. Aber ich möchte doch schließen mit dem Ausdruck der Überzeugung: Ob und wie es den Hochschulen gelingt, die notwendige und wirksame Ausbildung zu sichern, ohne das wissenschaftliche Niveau des Hochschulunterrichtes zu senken, das ist die Schicksalsfrage, von deren Lösung die Zukunft der Mathematik an den Schulen und zum guten Teil auch an den Hochschulen abhängen wird.

Über den Ursprung der Gewitterelektrizität.

Von K. KÄHLER, Berlin-Potsdam.
(Aus dem Meteorologisch-Magnetischen Observatorium.)

Die Vorgänge in der Atmosphäre, die wir mit dem Namen Gewitter bezeichnen, haben, solange die Erde besteht, in hohem Maße die Menschen gefesselt. Das Gewitter ist nun aber nicht nur die auffallendste und schönste, sie ist auch die rätselhafteste Erscheinung der Atmosphäre.

Wir sind es heute von der Schule her gewohnt, die elektrischen Vorgänge in der uns umgebenden Luft mit ähnlichen, künstlich im Laboratorium erzeugten zu vergleichen. Als erster hat der Engländer WALL im Jahre 1699 diesen Gedanken ausgesprochen. Dieses Jahr ist daher als Ausgangspunkt der modernen Forschung anzusehen. WALL beschäftigte sich mit der Elektrisierung des Bernsteins, den er mit einem wollenen Lappen rieb. Dabei beobachtete er, sobald er die Finger dem Bernstein näherte, kleine Funken mit Knall. Diese Erscheinung schien ihm in gewisser Weise Blitz und Donner darzustellen. Um die Mitte des achtzehnten Jahrhunderts traten dann entscheidende Fortschritte ein durch WINKLER in Leipzig und vor allem durch den Amerikaner BENJAMIN FRANKLIN. WINKLER, der damals wenig Beachtung fand, sich allerdings auch im Gegensatz zu FRANKLIN keineswegs klar auszudrücken verstand und daher später ganz in Vergessenheit geriet, experimentierte im Jahre 1746 mit der kurz vorher von dem Kaminer Domherrn v. KLEIST erfundenen Flasche, dem Urbild der Leydener Flasche. WINKLER hebt die Ähnlichkeit der künstlichen Entladungen, die er dabei erhielt, mit den atmosphärischen Vorgängen hervor; oder wie er sich ausdrückte, das „himmlische Feuer" sei dasselbe wie das „elektrische Feuer". Er nahm als Elektrizitätsquelle in der Atmosphäre Reibungsvorgänge an, hatte also von dem Ursprung der Gewitter eine viel vernünftigere Vorstellung wie sein berühmter Zeitgenosse FRANKLIN, der die Blitze mit dem Meeresleuchten in Verbindung bringen und den Donner noch auf altbiblische Weise durch den Zusammenprall der Wolken erklären wollte. FRANKLINS Hauptverdienst ist, daß er das natürliche Experiment in die Forschung einführte. In einem seiner Briefe an den Engländer COLLINSON machte er im Jahr 1750 Vorschläge zur experimentellen Prüfung der Wolkenelektrizität, welche die Grundlage des Blitzableiters wurden. D'ALIBARD in Paris, der durch COLLINSON Kenntnis davon erhalten hatte, ließ im Mai 1752 durch einen Soldaten den ersten Versuch ausführen: Bei einem heraufziehenden Gewitter konnten aus einer Stange mit Spitze Funken gezogen werden. Im Herbst desselben Jahres machte FRANKLIN selbst seinen berühmten Drachenversuch, wodurch zum ersten Male eine Strömung aus der Wolke zur Erde nachgewiesen wurde. Damit war die elektrische Natur des Gewitters bewiesen. Diese Versuche fanden, allerdings gefördert durch eine sehr geschickte Werbetätigkeit, überall größte Beachtung und regten zu weiteren Messungen an. Selbst RICHMANNS Tod, der im Jahre 1753 in St. Petersburg dabei von einem Blitz erschlagen wurde, hielt den Eifer nicht auf.

Auch an Theorien war schon damals kein Mangel. So hervorragende Männer wie LAVOISIER, Laplace und VOLTA haben sich viel mit der atmosphärischen Elektrizität beschäftigt. Im Vordergrund stand die Vorstellung, daß mit der Verdampfung des Wassers von der Erde eine Elektrisierung verbunden sei, eine Vorstellung, die, allerdings in wechselnder Form, ein Jahrhundert hindurch fast allgemeine Geltung hatte. Der Franzose PELTIER und in den achtziger Jahren des neunzehnten Jahrhunderts der kürzlich verstorbene Wiener FRANZ EXNER haben dieser Theorie exakte Form gegeben und sie durch Beobachtungen und Versuche zu stützen versucht. Inzwischen hatte, etwa seit 1864, die klimatologische Gewitterforschung in allen Kulturländern eine große Entwickelung erfahren. Sehr befruchtend auf die Erkenntnis der elektrischen Vorgänge in den Gewitterwolken hat sie allerdings nicht gewirkt. Um die Wende des zwanzigsten Jahrhunderts setzt dann eine neue Entwickelung ein, die den großen Entdeckungen in der Physik und Radiologie ihren Ursprung verdankt. Die bahnbrechenden Arbeiten rühren her von den deutschen Physikern ELSTER und GEITEL und LENARD; auch die englischen Forscher C. T. R. WILSON und G. C. SIMPSON haben die Entwickelung sehr gefördert.

Die Grundlage der Gewitter sind die thermodynamischen Vorgänge in der Atmosphäre. Es kann hier auf Einzelheiten dieser meteorologischen Vorgänge nicht eingegangen werden. Das wichtigste Ergebnis solcher Betrachtungen ist, daß ein Gewitter nur einen Sonderfall der allgemeinen Kondensationsvorgänge, also der Niederschlagsbildung darstellt. Diese Erkenntnis ist an sich nicht neu. Schon im Jahre 1867 sprach der Altmeister der Meteorologie, HANN, das folgendermaßen aus: „Es läßt sich kein generelles Unterscheidungsmerkmal aufstellen zwischen einem Gewitter und einem gewöhnlichen heftigen Platzregen, den der Volksmund hie und da so bezeichnend ein stilles Gewitter nennt. Nur der Grad der Steigerung des bei allen Niederschlägen auftretenden Spannungs- und Ausgleichsprozesses ist es, der dieselben zu Gewittern stempelt. Eine Untersuchung über den Ursprung der Gewitter fällt dabei völlig zusammen mit jener über die Ursachen einer Steigerung eines sich weit verbreitenden Niederschlags." Man kann noch einen Schritt weitergehen und sagen: Die elektrischen Erscheinungen, die Auge und Ohr der Menschen wahrnehmen, und die uns den Anlaß geben, die Erscheinung ein Gewitter zu nennen, sind oft ganz zufälliger Natur. So kann es vor-

kommen, daß mitten in einem Dauer- (Land-) Regen sich plötzlich elektrische Entladungen zeigen oder daß unter einer ganzen Reihe von Böen — darunter versteht man plötzliche Niederschläge mit Windauffrischen — eine einzige, vielleicht noch nicht einmal die heftigste, mit Blitz und Donner verbunden ist. Auch Schneegewitter gibt es bekanntlich. Die noch heute weit verbreitete Ansicht, daß der elektrische Vorgang im Gewitter auf einem Ausgleich schon vorher bestehender Spannungsunterschiede beruht, ist also falsch. Vielmehr muß die Elektrizitätserzeugung in enger Verbindung stehen mit der Bildung und vor allem mit der Bewegung der Niederschlagsteilchen, also der Regentropfen, der Schneeflocken, der Graupeln usw. Was man früher nur für Begleiterscheinungen hielt, wird also jetzt der Hauptvorgang.

Diese Formulierung des Gewitterproblems zwingt nun, von vornherein alle Theorien zu verwerfen, die dieser Grundforderung nicht gerecht werden. An Gewitterhypothesen ist ja niemals Mangel gewesen, so daß man fast sagen kann, jeder Mensch hat seine eigene Ansicht darüber. Viele Theorien, auch manche von denen, die wissenschaftlich ernst genommen werden mußten, sind ja geradezu abenteuerlich zu nennen. Es sind aber auch sehr bestechende und elegante darunter. Jedesmal, wenn neue Kenntnisse der allgemeinen Elektrizität gewonnen wurden, hat man sie auf die atmosphärische Elektrizität angewendet: so die unipolare Induktion des Erdmagnetismus, die photoelektrische Sonnenwirkung, die Thermoelektrizität, die Kathodenstrahlen, die radioaktiven Vorgänge und die durchdringende (ultra-γ-) Strahlung.

Bevor auf die wenigen heute allein in Betracht kommenden Theorien eingegangen wird, soll im folgenden eine Darstellung der Beobachtungstatsachen gegeben werden, die ja die Grundlage einer Gewittertheorie bilden müssen, und erst am Schluß sollen die Folgerungen daraus gezogen werden.

1. *Laboratoriumsversuche.* Ein vor allem für den Physiker sehr nahe liegender Gedanke ist der, aus künstlichen Versuchen, in erster Linie aus den Funkenentladungen auf die atmosphärischen Vorgänge zu schließen. In der Tat haben uns solche Versuche wichtige Fingerzeige gegeben, wie die oben erwähnten ersten Experimente von WALL und WINKLER schon zeigen. Es ist aber bei den Schlüssen von den stetigen, sicheren künstlichen Versuchen auf die ungeheuer verwickelten, natürlichen Vorgänge Vorsicht geboten. Um das zu verstehen, braucht man sich nur die Größenordnung der Erscheinungen zu vergegenwärtigen. Im Blitz entladen sich Spannungen von vielen Millionen Volt, seine Stromstärke beträgt bis zu 100000 Ampere, die Energie seiner Entladung bis zu 10^{17} und 10^{18} Erg. Das sind Energien, die wir im Laboratorium nicht nachzumachen vermögen. Nun besteht aber nicht nur zwischen beiden Vorgängen ein Unterschied in der Größenordnung, sondern auch grundsätzlicher Art. Die Funkenentladung im Laboratorium ist oszillatorisch, stellt also ein Hin- und Herschwingen von Elektrizität mit wechselnden Polen dar, die Blitzentladung ist dagegen stets eine allerdings sehr wechselnde Strömung zwischen zwei Polen, also z. B. zwischen negativer Wolke und positiver Erde. Trugschlüsse aus Laboratoriumsmessungen sind vor allem aus künstlichen Kugelblitzen gezogen worden, so aus den früher viel genannten des Franzosen PLANTÉ. Wertvolle Aufschlüsse haben aber Versuche der deutschen Physiker TÖPLER und WALTER sowie des Engländers TOWNSEND gegeben. TOWNSEND und TÖPLER haben gezeigt, daß die Funkengrenze bei Luft von normaler Dichte etwa 30000 Volt/cm beträgt, d. h. erst bei dieser hohen Spannung setzt der eigentliche Blitz ein. Eine Gewittertheorie muß daher imstande sein, so hohe Spannungsunterschiede zu erklären, und gerade in diesem Punkt versagen die meisten, so z. B. die lange in Geltung gewesene WILSON-GERDIENsche Theorie der Kondensation an den Elektrizitätsträgern. Zu berücksichtigen ist allerdings, daß nicht in der ganzen späteren Blitzbahn so hohe Spannungen vorhanden zu sein brauchen und dann vor allem, worauf C. T. R. WILSON nachdrücklich hingewiesen hat, daß bei kleinerer Luftdichte auch die Funkengrenze sinkt. In sehr großer Höhe sind daher Entladungen schon bei einigen hundert Volt/cm möglich. WALTER hat, ausgehend von Laboratoriumsversuchen, die kürzlich zum Teil von SIMPSON wiederholt wurden, zeigen können, daß die Entladung sich stets gleichsam tastend ihren Weg durch die Luft bahnt. Man kann Vor-, Haupt- und Nachentladungen unterscheiden. Die Vorentladungen des positiven Pols sind dabei stets weit mehr verästelt als die des negativen.

Von großer Bedeutung für die Gewitterelektrizität sind Laboratoriumsversuche gewesen, die LENARD und nach ihm SIMPSON über das hydrodynamische und elektrische Verhalten der Wassertropfen ausgeführt haben. Durch LENARDS grundlegende Arbeiten ist nicht nur eine wichtige Elektrizitätsquelle, die Wasserfall-Elektrizität, entdeckt worden; wir haben durch sie erst Einblick erhalten in das Entstehen und Vergehen der Tropfen. In diesem Zusammenhange seien auch die Versuche von W. SCHMIDT-Wien erwähnt, der Böen künstlich nachbildete und daraus wichtige Schlüsse auf die dynamischen Vorgänge im Gewitter ziehen konnte.

2. *Blitzphotographien.* Im Jahre 1884 glückte KAYSER die Photographie eines schönen Blitzes, bei dem es durch einen günstigen Umstand, nämlich durch starken Querwind möglich war, die zeitlich aufeinanderfolgenden Phasen der Strömung zu sehen. Was hier der Zufall offenbarte, hat dann WALTER durch Aufnahmen mit fester und bewegter photographischer Kammer systematisch untersucht und daraus wertvolle Schlüsse auf die zeit-

lichen und räumlichen Vorgänge in der Gewitterwolke ziehen können. Die Entstehungsweise des Blitzes, die Art der Entladung, der Weg, den er einschlägt, wurden so geklärt. Oft zeigten sich Zusammenhänge zwischen räumlich vollkommen getrennten Vorgängen. Aus diesen Blitzstudien geht hervor, daß auch die Wolkenladung oft stark wechselt.

Zu einem anderen Ergebnis gelangt SIMPSON in einer Arbeit von 1926, in der er alle in England überhaupt zugänglichen Blitzphotographien auf die Art der Verästelung untersuchte. Er fand, daß von 442 Aufnahmen nur bei 3, gut ausgeprägt eigentlich nur bei einer einzigen die Verzweigung zur Wolke gerichtet, dagegen bei nicht weniger als 242 deutlich von der Wolke weggerichtet war. Die übrigen Fälle wiesen keinerlei Verzweigung auf. SIMPSON schließt daraus, daß in weitaus den meisten Fällen die unteren Wolkenteile, aus denen der Blitz zur Erde ging, positiv geladen waren. Die positiven Blitze (Wolke Anode, Erde Kathode) überwogen nach seiner Ansicht sehr stark, während die negativen Blitze (Wolke Kathode, Erde Anode) in England überaus selten waren. Das steht aber in Widerspruch zu anderen Meßergebnissen. Man kann nämlich, wie TÖPLER zeigte, die magnetische Wirkung, die ein Blitz stets ausüben muß, dazu benutzen, um seine Strömungsrichtung festzustellen. Aus Einschlägen in Gestein oder dadurch, daß man Stahl-(Koerzit-)stäbe in der Nähe von Blitzableitern anbringt, folgt ein Überwiegen der negativen Blitze. Nebenbei gesagt, läßt sich aus der Stärke der Magnetisierung auch die Stromstärke der Blitze berechnen. Aus etwa 10 an Schiffskompassen bei Blitzschlägen in eiserne Schiffe eingetretenen Störungen schließt allerdings MAURER auf positive Blitze. Das Material ist wohl noch nicht zahlreich genug, um daraus Unterschiede zwischen Land- und Seegewittern herzuleiten.

3. *Die elektrische Ladung der Niederschläge.* Schon die ersten Messungen von ELSTER und GEITEL zeigten, daß alle Niederschläge, nicht nur die Gewitterregen, stets elektrische Ladungen tragen. Genaueren Einblick in die Vorgänge lieferten lange Registrierreihen, die von KÄHLER und SCHINDELHAUER in Potsdam, von SIMPSON in Simla (Indien) erhalten wurden, sowie genaue Augenbeobachtungen, die GSCHWEND in Freiburg (Schweiz) ausführte. In Verbindung mit Bestimmungen der Niederschlagsstärke und der Tropfengröße wurden so eine Reihe von Gesetzmäßigkeiten gefunden, denen eine Gewittertheorie, soll sie zutreffen, gerecht werden muß. Das einfachste elektrische Verhalten zeigen die Landregen, die fast stets geringe positive Eigenladungen und kleine Einheitsladungen (d. h. elektrische Ladungen pro Kubikzentimeter) liefern. Dagegen ist bei Böen- und Gewitterregen das negative Vorzeichen gleich häufig oder überwiegt sogar, vor allem im Frühjahr. Ferner sind die Ladungen sehr viel größer als bei ruhigem Regen. Beim Schnee überwiegt das negative Vorzeichen weitaus: gleichzeitig sind die Einheitsladungen stets größer als bei ruhigem Regen. Die subtropischen Regen in Simla brachten einen starken Überschuß des positiven Zeichens, aber ähnliche Gesetzmäßigkeiten wie in Mitteleuropa. Bei allen Niederschlägen nimmt die Einheitsladung mit wachsender Regenstärke ab, d. h. kleintropfiger Regen und schwacher Schnee sind stets elektrischer als großflockiger Schnee oder großtropfiger Regen. Beim Regen tragen immer die negativen Tropfen die größten Ladungen, beim Schnee die positiven Flocken. GSCHWEND zeigte, daß schon beim Landregen die Tropfen eine viel größere Ladung aufweisen, als entstehen würde, wenn lauter kleine Wolkenelemente (Größe etwa $3 \cdot 10^{-4}$ Durchmesser) mit der Elementarladung $4{,}8 \cdot 10^{-10}$ el. stat. Einheiten zu Regentropfen zusammengeflossen wären. Als Höchstwerte der Ladung pro Kubikzentimeter erhielt GSCHWEND über 200 el. stat. Einheiten. Es gibt nur ganz wenige Gewittertheorien, die imstande sind, solche Riesenladungen zu erklären. Dazu tritt ein sehr starker Zeichenwechsel. So fand GSCHWEND einmal innerhalb einer halben Minute einen 8maligen Wechsel zwischen Plus und Minus.

Nun unterliegen allerdings die Messungen der Niederschlagselektrizität am Erdboden dem Einwand, daß sich beim Fallen durch die Wolke und die Luft bis zum Boden die Ladungen und unter Umständen auch die Vorzeichen ändern können (WILSON). Um die Frage zu entscheiden, wären Messungen in der Wolke selber oder Parallelmessungen zwischen Wolke und Erdboden nötig.

4. *Die elektrische Raumladung der Luft bei Niederschlägen.* Wenn in den Wolken und in der Atmosphäre dauernd positive und negative Ladungen vorhanden sind, so stellt in einem begrenzten Luftraum die Raumladung den Überschuß des einen Vorzeichens über das andere dar. Messungen hierüber liegen ebenfalls nur von der Luft über dem Erdboden vor. Sie sind von KÄHLER in Potsdam und nach einer ganz anderen Methode von OBOLENSKY nahe St. Petersburg (Leningrad) ausgeführt worden. Beide Meßreihen ergaben übereinstimmend bei Landregen meistens negative Raumladungen, bei Schnee dagegen positive, während bei Böen und Gewittern ein ebenso starker Vorzeichenwechsel auftritt wie bei den Eigenladungen der zu Boden fallenden Niederschläge. Die Erklärung für dieses Verhalten muß im Elektrisierungsprozeß zu suchen sein, der bei ruhigem Regen gleichzeitig schwerbewegliche positive Träger, die Regentropfen, und leichtbewegliche negative, feinste Tröpfchen, erzeugt. Die positiven fallen eher zu Boden und lassen in der Luft einen Überschuß von negativen Ladungen zurück. Bei ruhigem Schneefall ist es umgekehrt, die gröberen zu Boden fallenden Teilchen sind negativ, die eher in der Luft verbleibenden positiv elektrisch. Während aber diese Ladungen stets nur klein sind, treten bei Böen und Gewittern, sowie auch bei Schneefall mit heftigem Wind sehr große wech-

selnde Raumladungen auf. Also nur, wenn heftige Bewegungen in der Wolke vorhanden sind, ist der Elektrisierungsvorgang stark. Unter Böen- und Gewitterwolken können übrigens, auch ohne daß Regen aus ihnen fällt, die Raumladungen am Erdboden groß werden. Es ziehen also dann mit der Wolke starke Ladungen mit, die bis zum Erdboden herunterreichen.

5. *Das Spannungsgefälle Luft gegen Erde.* Bei ruhigen Niederschlägen wird der Potentialunterschied Luft gegen den Erdboden im elektrischen Feld der Erde im allgemeinen von der Raumladung der Luft bestimmt, hat demnach dann das umgekehrte Vorzeichen wie die Eigenladung der Niederschläge, d. h. er ist bei Regen negativ, bei Schnee positiv. Bei Böen und Gewittern tritt außer der starken Erhöhung der Werte ständiges Schwanken der Vorzeichen ein, das noch erheblich größer ist als bei den beiden unter 3 und 4 besprochenen Elementen. Da Messungen des natürlichen Spannungsgefälles Luft gegen Erde viel früher und häufiger ausgeführt worden sind, so hat man oft versucht, aus ihnen Schlüsse auf die Wolkenladungen zu ziehen. Doch sind hier selten eindeutige Beziehungen vorhanden. Das beweisen am besten Versuche von KÄHLER in Potsdam, der 1910 zeigte, daß eine zwischen zwei Meßorten hindurchziehende Bö auf der einen eine positive, auf der anderen gleichzeitig eine negative Feldänderung zur Folge hatte.

Wichtig ist vor allem die Frage: Wie wirkt ein Blitz auf das elektrische Feld in der Nähe des Erdbodens ein? Nehmen wir den noch ziemlich einfachen Fall an, daß in der Gewitterwolke nur zwei Ladungen vorhanden sind, etwa die positive oben, die negative unten, so wird, wie C. T. R. WILSON zeigte, bei ihrem Herannahen ein positiver Blitz, der innerhalb der Wolke von Plus zu Minus strömt, an einem Punkt der Erdoberfläche eine elektrostatische Wirkung ausüben, die in großer Entfernung der Wolke positiv, direkt unter der Wolke jedoch negativ ist. Sind die Vorzeichen in der Wolke umgekehrt, treten also negative Blitze auf, so drehen sich auch die Vorzeichen in der Feldänderung um. Bei den Blitzen, die den Erdboden erreichen, ist ein Vorzeichenwechsel nur möglich, wenn der Strömungssinn sich ändert, wenn also statt des positiven Blitzes ein negativer auftritt. Zu dieser elektrostatischen Wirkung tritt, wie WATSON WATT hervorhebt, noch eine Induktionswirkung, die durch den Strom im Entladungskanal hervorgerufen wird, sowie eine elektromagnetische Strahlungswirkung, die vor allem bei sehr entfernten Blitzen durch jede Stromänderung, z. B. durch eine Strombeschleunigung erzeugt wird. WATT zeigte durch Rechnung, daß diese Strahlungswirkung bei einem 3000 km entfernten Gewitter noch Feldänderungen bringt, die 1000mal größer sind als ein gewöhnliches Handelssignal der drahtlosen Telegraphie. WATT schließt daraus, daß selbst Gewitter, die 10000 km entfernt sind, eine merkliche Störung des Feldes bewirken können.

Solche Feldänderungen sind aber aus den üblichen, verhältnismäßig trägen meteorologischen Meßmethoden, etwa aus den Aufzeichnungen mit dem Thomsonschen Wassertropfer, nicht zu erkennen. Das ist erst durch die Verfeinerung dieser Meßmethoden möglich geworden, wie sie zuerst C. T. R. WILSON in England und dann außer WATSON WATT NORINDER in Schweden eingeführt haben. WILSON und nach ihm eine Reihe anderer englischer Physiker beobachteten oder registrierten die Feldänderungen, die auf einer in der Erdoberfläche gelegenen Platte oder in einem kugelförmigen Luftleiter eintraten, NORINDER und WATT maßen mit einer Braunschen Röhre (Kathodenstrahl-Oszillograph) die schnellen Feldänderungen in einer Antenne, beispielsweise in einer 10 m über dem Erdboden gelegenen, einige 100 m langen Drahtleitung. WILSON fand in England bei 16 Sommergewittern, die 3—30 km entfernt waren, unter etwa 1000 Feldänderungen das Verhältnis der positiven zu den negativen Werten zu etwa 1,5 : 1. Dagegen überwogen bei sehr entfernten Gewittern, die APPLETON, WATT und HERD in Heluan (Ägypten) und Khartum untersuchten, die negativen Feldänderungen weitaus. Messungen, die SCHONLAND und CRAIB in Südafrika ausführten, gaben für die Nahgewitter mehr positive, für Ferngewitter überwiegend negative Feldänderungen. Dieser Vorzeichenwechsel tritt auch bei demselben Gewitter ein. Weitaus die meisten Blitze konnten als Wolkenblitze ausgemacht werden, die seltenen Erdblitze brachten fast stets positive Feldänderungen. Diese Messungen bestätigen die WILSONsche Ansicht, daß bei Wolkenblitzen, ohne daß sich in der Wolke die Ladungsverteilung zu ändern braucht, beim Herannahen ein Vorzeichenwechsel in der Feldänderung eintritt. Außerdem wird es sehr wahrscheinlich gemacht, daß die Erdblitze negativ sind; denn negative Erdblitze müssen, weil bei ihnen ein negatives Feld abgebaut wird, positive Feldänderungen am Erdboden zur Folge haben.

Während bei diesen Messungen die plötzlichen Feldänderungen nicht wesentlich über den Wert 10000 V/m (10 kV/m) hinausgingen, eine Größenordnung, die aus den meteorologischen Registrierungen schon bekannt war, wies NORINDER in Upsala bei Gewittern in seiner Antenne Spannungsstöße von 20—40 kV/m nach. Einmal erhielt er sogar bei einem ganz in der Nähe der Leitung niedergehenden Blitz minutenlang 100 kV/m. NORINDER schätzt infolgedessen die Spannungen in der Blitzbahn selber zu 200—400 kV/m. Infolgedessen mußte sich der Blitzschutz der Hochspannungsleitungen, der bis dahin mit viel kleineren Störungen gerechnet hatte, auf diese hohen Werte umstellen. Die Gewitterstörungen sind bekanntlich ein großes Sorgenkind der Elektrizitätswerke. Zwar sind direkte Einschläge nicht zu häufig. Wenn sie auftreten, sind sie allerdings oft von verheerender Wirkung: Leitungsmasten werden umgelegt, ganze Serien von Porzellanisolatoren

zerschlagen usf. Die häufigsten Schäden in den Leitungen und an den Kraftwerken treten aber ein durch Wanderwellen, die von den in der Nähe der Leitungen niedergehenden Blitzen in ihnen erzeugt werden.

Der Wunsch, diese Störungen zu beseitigen, hat die Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen in Berlin, Leiter MATTHIAS, veranlaßt, in Wünsdorf bei Zossen ein Versuchsfeld für Blitzstudien zu schaffen. Diese Wünsdorfer Messungen bedeuten insofern einen großen Fortschritt gegenüber allen früheren, weil in ihnen gleichzeitig alle Blitzwirkungen aufgezeichnet wurden, so daß eindeutige Schlüsse auf die Strömungsrichtung gezogen werden konnten. Auf einem Schleifen-Oszillographen von Siemens & Halske, dessen photographisches Papier mit einer Geschwindigkeit von 10—20 cm/sk ablief, wurden folgende Größen registriert: 1. die Zeit durch eine schwingende Stimmgabel; 2. der Donner durch ein Mikrophon; 3. die Feldstärke F durch eine eigens dafür gebaute Meßmaschine; 4. die Feldänderung dF/dt durch eine Antenne, ähnlich der von NORINDER verwandten; 5. die Blitzstromänderung di/dt durch zwei Rahmenantennen, von denen die eine in der Nord-Süd-, die andere in der Ost-West-Ebene stand. Diese Blitzstromänderung ergibt zusammen mit den Augenbeobachtungen des Blitzeinschlags die genaue Strömungsrichtung der Blitze. Die Augenbeobachtung ist deswegen nicht zu entbehren, weil z. B. zwei entgegengesetzt strömende Blitze in 180° Abstand, also etwa ein positiver Blitz im Norden und ein negativer im Süden auf die Ost-West-Rahmenantenne die gleiche Wirkung ausüben. Die Messungen des Sommers 1926 ergaben für die positiven Feldänderungen als häufigsten Wert 12—15 kV/m, für die negativen 10 kV/m, also nicht so hohe Werte, wie NORINDER gefunden hatte. Immerhin traten in einem Junigewitter Schwankungen von +40 kV/m bis zu −20 kV/m auf, doch dauerten diese Werte nur ganz kurze Zeit. Der größte Ausschlag in $^1/_{1000}$ Sekunde war 1800 V/m. Die positiven Feldänderungen überwogen die negativen etwa im Verhältnis 2 : 1. Mit Hilfe der Blitzstromregistrierung in den Rahmenantennen ließ sich bei 84 nahen Blitzschlägen die Strömungsrichtung bestimmen. Nicht weniger als 72 hatten die Richtung Erde-Wolke, waren also negativ und nur 12 die positive Richtung Wolke-Erde. Das Verhältnis der negativen zu den positiven Blitzen war demnach 6 : 1 und nicht 2 : 1, wie man aus den Feldänderungen hätte schließen können. Die negativen Blitze waren also noch weit häufiger, als WILSON, der schon aus seinen nicht eindeutigen Feldänderungsmessungen auf das Überwiegen der negativen Blitze geschlossen hatte, annahm. Auch die TÖPLERschen, aus der magnetischen Wirkung geschlossenen Beobachtungen werden durch die Wünsdorfer Messungen bestätigt.

Folgerungen für die Gewittertheorien. Bei der Bildung und Bewegung der Niederschlagsteilchen sind an und für sich eine ganze Reihe von elektrischen Vorgängen denkbar. Die schon erwähnte Annahme, daß beim Verdampfen des Wassers Elektrizität erzeugt werde, ist durch die Beobachtungsergebnisse widerlegt worden. Auch bei Laboratoriumsversuchen, wie sie vor Jahrzehnten SCHWALBE und neuerdings KÄHLER und DORNO ausführten, hat sich keine Elektrisierung des Wasserdampfes nachweisen lassen. In Betracht zu ziehen wäre ferner eine Adsorption schon vorhandener Elektrizitätsträger an Wassertröpfchen und -dampf. Eine solche Wirkung ist in geringem Maße vorhanden, tritt aber bei beiden Trägersorten ein, und zwar im Verhältnis ihrer Beweglichkeit, so daß eine größere Trennung der Vorzeichen nicht erfolgen kann. Die WILSON-GERDIENsche Theorie, die vor etwa zwei Jahrzehnten sehr im Vordergrund stand und auf der verschiedenen Kondensation an den Elektrizitätsträgern beruht, mußte wieder verlassen werden, denn ebenso wie bei der Adsorption entspricht die leichtere Dampfbildung an den negativen Trägern lediglich ihrer größeren Beweglichkeit. So bleiben nur zwei Möglichkeiten übrig: die *Lenard-* (Wasserfall-) *wirkung* und *Influenzvorgänge*.

I. *Die Simpsonsche Gewittertheorie.* SIMPSON hat bereits im Jahre 1909, gestützt auf seine indischen Messungen, die Lenardwirkung zur Grundlage einer Gewittertheorie gemacht. Er nimmt an, daß im aufsteigenden Luftstrom der Gewitterwolken ein Zersprengen („Zerblasen" nach LENARD) der Tropfen in größere positiv geladene und feinen negativen Wasserstaub stattfindet. Durch die Schwerkraft tritt dann eine Trennung der Elektrizitäten ein. Es ist nicht zu bezweifeln, daß der Effekt quantitativ ausreichen würde, um so starke Ladungen zu erzeugen, wie sie die Blitze erfordern. Bedenken sind aber in verschiedenen Punkten geltend gemacht worden. Aus LENARDS Laboratoriumsversuchen geht hervor, daß zum Zerblasen der größten Tropfen, 5 mm Durchmesser, eine Vertikalgeschwindigkeit von 8 m/sk und außerdem eine Böigkeit von 3 m/sk, also insgesamt 11 m/sk nötig sind, bei halb so großen Tropfen zwar nur 6 m/sk Vertikalgeschwindigkeit, aber dafür eine Böigkeit von 14, also insgesamt 20 m/sk. So hohe Vertikalgeschwindigkeiten sind nicht eben häufig, wenn auch nicht daran zu zweifeln ist, daß sie mal mitten im stärksten Böenwirbel eintreten. Bei Landregen versagt die Theorie ganz, denn in ihnen ist kein Zerblasen möglich; ebensowenig in ruhigen Schneefällen, wo zudem, wie oben ausgeführt wurde, sich meistens alle Vorzeichen umkehren. Es ist auch mehrfach angezweifelt worden, ob die Theorie bei Winter- und Schneegewittern zutrifft. Dazu liegt an und für sich kein Grund vor, denn schon LENARD hat betont, daß auch beim Schnee ein Zerblasen möglich sein müsse. Ganz allgemein kann man sagen: Alle Reibungsvorgänge, und diese spielten von jeher in allen Gewittertheorien eine große Rolle, sind auf die Lenardwirkung zurückzuführen. Wenn

man allerdings, wie es SIMPSON in seiner neuesten Arbeit tut, bei der Eisreibung die umgekehrten Vorzeichen annimmt wie bei den Tropfen (Schnee negativ, Luft positiv), dann treten neue Schwierigkeiten auf. Doch ist dies unnötig, denn KÄHLER und DORNO haben 1925 gezeigt, daß beim Zerblasen von Schnee dieselben Vorzeichen wie bei den Tropfen auftreten: Die groben Schneeteilchen werden positiv, der feine Schneestaub, *nicht* die Luft, wird negativ elektrisiert. Die Vorgänge an den festen Niederschlagsteilchen sind übrigens durchaus nicht auf die Wintergewitter beschränkt; vielmehr sind beim Gewitter der gemäßigten Zone, wo ein guter Teil der Kondensation sich oberhalb der 0°-Isotherme abspielt, stets Schnee und vor allem Graupel- und Hagelkörner in der Wolke vorhanden. Ob an den runden Graupel- und Hagelkörnern ein Zerblasen möglich ist, ist allerdings recht fraglich.

Die SIMPSONsche Theorie hatte in England und Frankreich allgemeine Gültigkeit erlangt, doch wird sie neuerdings gerade in England wieder angezweifelt. Weil die leichteren negativen Ladungen durch den aufsteigenden Luftstrom über die schwereren positiven getragen werden, ist eine notwendige Folge der Theorie, daß die Gewitterwolken negativ bipolar sein müssen, d. h. die Wolke ist unten positiv, oben negativ geladen. Zu demselben Ergebnis ist SIMPSON ja auch durch das Deuten der Blitzphotographien geführt worden. Nun hat aber bereits WILSON betont, daß seine Beobachtungen nur durch das Überwiegen von positiv bipolaren Wolken erklärt werden können, d. h. WILSON nimmt an, daß häufiger die positive Ladung über der negativen liegt. Nebenbei sei erwähnt, daß WILSON durch das Überwiegen der negativen Blitze sich die negative Erdladung entstanden denkt, ein Gedanke, den 1927 WIGAND erneut ausgesprochen hat. Auch APPLETON, WATT und HERD sowie SCHONLAND und CRAIB glauben, daß ihre Versuchsergebnisse nur durch positiv bipolare Gewitterwolken erklärt werden können, kommen also zu dem Schluß, daß die SIMPSONsche Theorie entweder verworfen oder doch radikal geändert werden müsse.

In einer 1927 erschienenen Arbeit, die nach ihm eine qualitative und quantitative Vervollständigung seiner alten Theorie von 1909 auf Grund der inzwischen erzielten Fortschritte der Forschung darstellt, sucht nun SIMPSON seine Theorie erneut zu stützen. Er deutet sehr geschickt alle englischen Beobachtungen zu seinen Gunsten und zieht recht interessante Schlüsse daraus. Er gibt wohl zu, daß in Einzelheiten viele Abweichungen von dem von ihm aufgestellten idealisierten Schema nicht nur möglich, sondern selbstverständlich sind, aber das Schema muß im Mittel aller Fälle stimmen. Daher hält er an der negativ bipolaren Wolke unbedingt fest. Übrigens gelangte auch TÖPLER, von ganz anderen Überlegungen ausgehend, im Jahre 1926 zu der Ansicht, daß im Gewitter die positive Ladung unter der negativen liegt, eine Ladungsverteilung, die sich nur bei den Front- und vor allem bei den Wintergewittern gegeneinander verschieben soll. Inzwischen sind nun aber die oben besprochenen eindeutigen Wünsdorfer Meßergebnisse erschienen, die noch ein stärkeres Überwiegen der negativen Blitze ergaben, als WILSON angenommen hatte. Diese Ergebnisse werden sich schwerlich mit einem Schema vereinigen lassen, das in der Wolke die negative Ladung über der positiven verlangt. Damit soll nicht gesagt werden, daß mitten im Böenwirbel die *Lenard*wirkung nicht auftreten kann. Sie ist aber nicht der Hauptvorgang.

II. *Die Influenztheorie von Elster und Geitel.* Da in der Atmosphäre stets ein ziemlich starkes, wenn auch mit der Höhe abnehmendes elektrisches Feld vorhanden ist, in dem die Wolken- und Niederschlagsbildung erfolgt, so sind bei der Berührung und Trennung der Niederschläge Influenzvorgänge unausbleiblich. Das beweist ja schon der einfache Versuch mit dem Thomsonschen Wassertropfer. ELSTER und GEITEL haben auf diesen Vorgängen schon vor Jahrzehnten eine Gewittertheorie aufgebaut, die zeitweise in den Hintergrund gedrängt wurde, sich aber immer wieder durchsetzte. Diese Theorie reicht nicht nur quantitativ aus, sie hat auch den großen Vorzug, nicht nur die Ladung der Gewitterregen, sondern die aller Niederschläge erklären zu können. Keine Theorie kann ferner dem dabei auftretenden steten Zeichenwechsel so gut gerecht werden. Es sind Influenzvorgänge der verschiedensten Art an den festen und flüssigen Niederschlagsformen möglich. Es würde hier zu weit führen, wenn auf alle Einzelheiten eingegangen würde[1]. Ein Hinweis möge genügen. Um das Überwiegen der negativen Blitze zu erklären, sind Vorgänge nötig, welche die negativen Ladungen in der Wolke nach unten bringen. Das wäre möglich durch das Abprallen der kleinen flüssigen Wolkenteilchen an der Unterseite des Schnees und der Graupeln, ein Vorgang, der immer beim Fallen der Graupeln durch die Wolke eintreten muß. Dabei laden sich im normalen Erdfeld die schwereren festen Bestandteile negativ, die leichteren feinen Wolkentröpfchen positiv auf. Die Elektrizitätstrennung erfolgt auch hier durch die Schwerkraft. Weil die festen Teilchen beim Fallen in wärmere Luftschichten gelangen, kommen sie meistens geschmolzen als Tropfen zum Erdboden.

[1] Vgl. K. KÄHLER, Elektrizität der Gewitter, Sammlung Bornträger Nr. 3, Berlin 1924.

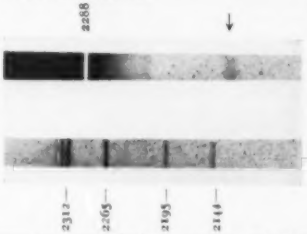
Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Die ultraviolette Bande des Cd bei 2100 Å.

In der Zeitschr. f. Phys. 45, 878. 1927, berichtet JABLONSKI über eine Absorptionsbande des Cd zwischen 1990 und 2125 Å. Unter gewissen Bedingungen konnte er dieselbe Bande auch in Fluorescenz bekommen (etwa 2100—2144 Å). Es dürfte interessieren, daß auch in einer positiven Säule in Argon, dem Cd-Dampf zugemischt wird, eine Emissionsbande bei etwa 2124 Å erscheint, die mit der von Herrn JABLONSKI beobachtete Bande identisch zu sein scheint. In der Figur erkennt man deutlich die schmale Bande. Daneben erscheint stark umgekehrt die Resonanzlinie 2288 Å (1 S — 2 P) und ein kontinuierliches Licht, das offenbar mit der Absorptionsbande 2260—3050 Å übereinstimmt. Zum Vergleich wurde das Funkenspektrum mit abgebildet. Die Versuchsbedingungen bei dieser Aufnahme waren: Argondruck 2,5 mm; Temperatur des Cd-Dampfes 450° C; Länge der Säule 100 cm (es wurde „end-on" durch ein angeschmolzenes Quarzfenster beobachtet); Spannungsgefälle in der Säule



a Spektrum der pos. Säule in Argon Cd-Dampf enthaltend (bei ↓ die Bande).
b Cd-Funkenspektrum (nur als Wellenlängenskala).

ca. 180 V; Stromstärke ca. 100 mA. bei einem Querschnitt von 20 mm Belichtungsdauer 1 Min.

Eindhoven, Natuurkundig Laboratorium der N. V. PHILIPS' Gloeilampenfabriken, den 12. Dezember 1927.

W. DE GROOT.

Besprechungen.

HAERING, TH. L., **Über Individualität in Natur und Geisteswelt.** (Wissenschaft und Hypothese Bd. 30.) Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1926. 114 S. 13 × 19 cm. Preis geb. RM 5.80.

Die Abhandlung ist aus der Vereinigung zweier Vorträge hervorgegangen, die in einem Psychiater- und einem Philologenverein gehalten wurden. Der Individualitätsbegriff des Verfs. deckt sich im wesentlichen mit dem seit längerer Zeit eifrig diskutierten Begriff der „Ganzheit" oder „Gestalt", nur wird in Anlehnung an den Irrationalismus BERGSONS noch eine zeitliche Kennzeichnung mit aufgenommen: jede Individualität sei aus einer in sich einheitlichen Entwicklung mit einem jeweils charakteristischen Entwicklungsrhythmus hervorgewachsen. Wahre Individualität sei *kausal nicht erfaßbar*, sondern eine nur der Intuition verständliche Grundkategorie. Verf. findet solche Individualitäten nicht nur überall im Organischen, Psychischen und dem sich darüber erhebenden Reich des Geistigen sondern auch in Physik und Chemie. Er will die kausale Betrachtung überall ergänzt sehen durch eine morphologische und vitalistische, jedoch sei die *teleologische* Auffassung der Ganzheit (DRIESCH) schon zu speziell und zu rational. Das Problem des Lebens, der psycho-physischen Beziehung und der Willensfreiheit werde durch und nur durch die Individualitätskategorie gelöst. Herangezogen wird vor allem die Synthesiologie M. HEIDENHAINS für das organische, die Typenpsychologie und Charakterologie für das psychische, die Denkpsychologie für das geistige Gebiet. Die bisher exakteste Untersuchung des Ganzheitsbegriffes, W. KÖHLERS Buch über die physischen Gestalten, wird weder erwähnt noch verwertet. Zu der Denkweise und den Ergebnissen der mathematischen Physik hat Verf., wie öfters auffällig merkbar wird, nur recht äußerliche Beziehungen. E. ZILSEL, Wien.

Aus den Sitzungsberichten der preußischen Akademie der Wissenschaften 1927.

[Gesamtsitzung = (G.). Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse = (Phys.-math. Kl.).]

6. Januar (G.). Vors. Sekr.: Hr. HEYMANN.

Herr EINSTEIN sprach über **allgemeine Relativitätstheorie und Bewegungsgesetz.** Am Beispiel des reinen Gravitationsfeldes wird gezeigt, daß aus nicht-linearen Feldgleichungen das mechanische Verhalten der Singularitäten erschlossen werden kann. Gemäß diesem Ergebnis eröffnet sich die Möglichkeit, auf der Basis von Feldgleichungen zu einer Theorie der Materie zu gelangen, die durch Diskontinuitäten im Raume charakterisiert ist.

13. Januar (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr CORRENS sprach über **sekundäre Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Individuen getrenntgeschlechtiger Blütenpflanzen.** Eingehender wurden besprochen: 1. Die MANOILOFFsche (und BERNATZKIsche) Farbenreaktion zur Erkennung der Geschlechter, nach Untersuchungen von Herrn SCHRATZ. Der Ausfall der Reaktion ist nicht durch verschiedene Stoffe bedingt, die für die Geschlechter spezifisch wären, sondern zeigt einen Unterschied in der *Menge* oxydierbarer Substanzen an. Die weiblichen Individuen enthalten mehr davon als die männlichen. 2. Die ungleich schnelle Keimung der männlich bestimmten und der weiblich bestimmten Samenkörner von *Melandrium*, nach eigenen Untersuchungen. Die Männchensamen keimen im Durchschnitt auffällig rascher als die Weibchensamen, bei gleicher Sterbenswahrscheinlichkeit.

20. Januar (G.). Vors. Sekr.: Hr. HEYMANN.

Herr EINSTEIN legte eine Arbeit zu **Kaluzas Theorie des Zusammenhanges von Gravitation und Elektrizität** vor. Ein Kontinuum von fünf Dimensionen, welches eine RIEMANN-Metrik besitzt und der „verschärften Zylinderbedingung" genügt, ist einem Kontinuum von vier Dimensionen äquivalent, das durch eine RIEMANN-Metrik und einen antisymmetrischen Potentialtensor charakterisiert ist. Dieser Sachverhalt liefert eine einfache formale Interpretation des Zusammenhanges von Elektrizität und Gravitation.

3. Februar (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr PENCK sprach über **die Ursachen der Eiszeit.** Bei Untersuchung der eiszeitlichen Gletscher hat sich fast allenthalben gezeigt, daß deren Oberfläche die heutigen Gletscheroberflächen unterhalb der zugehörigen Schneegrenzen erreicht; es waren, wie EDUARD RICHTER zuerst gezeigt hat, die heutigen Firnfelder damals nicht voller. Das weist darauf, daß die Ursachen für die Eiszeit unterhalb der heutigen Schneegrenze gelegen waren, daß die Eiszeit also nicht eine Periode gesteigerter Niederschläge gewesen sein kann. Eine Ausnahme von der RICHTERschen Regel macht nur Antarktika, welches in seiner ganzen Ausdehnung mit Ausnahme einer einzigen, örtlich gut gekennzeichneten Stelle oberhalb der Schneegrenze liegt; gleichwohl haben die Eismassen an ihrem Saume eine größere Mächtigkeit gehabt. Man braucht hieraus nicht mit v. DRYGALSKI darauf zu schließen, daß die Eiszeit hier eine Periode gesteigerter Niederschläge gewesen sei, sondern es bietet sich dafür auch eine andere Erklärung, nämlich daß infolge der eiszeitlichen tieferen Lage des Meeresspiegels die Vergletscherung weiter reichte und deswegen an ihrem heutigen Saume mächtiger war als gegenwärtig. Es findet sich kein eindeutiger Hinweis dafür, daß die Eiszeit niederschlagsreicher war als heute, aber es gibt auch keinen Beweis dafür, daß sie durch sehr viel kälteres Klima gekennzeichnet gewesen sei.

Herr POMPECKJ legte eine Abhandlung vor, betitelt **ein neuer Zeuge uralten Lebens.** In einem Diluvialgeschiebe algonkischen oder unterkambrischen Alters findet sich der leider unvollständig erhaltene Abdruck der Dorsalseite eines höchst merkwürdigen tierischen Organismus: Ein schlanker, in regelmäßigem Wechsel grob und fein gegliederter Körper trägt zwei Längsreihen von flachen Buckeln; jedem Segment gehört ein plumpes Fußpaar an, das grob quergeringelt und fein längsgerieft ist. Die Versuche, diesen Körper in irgendeine der bekannten Tiergruppen — etwa bei Anneliden, Trilobiten, Eukrustaceen, Myriapoden oder Onychophoriden — einzureihen, scheitern insbesondere an flächenhaften seitlichen Anhängen, die das Tier in der Vorderregion des Körpers zeigt. Das völlig fremdartige Gebilde — *Xenusion* — zeigt, wie wenig uns bislang aus dem Formenschatz des ältesten Lebens der Erde erschlossen ist.

10. Februar (G.). Vors. Sekr.: Hr. HEYMANN.

Herr NERNST legte eine Arbeit vor **Verdünnungswärme von Salzen bei sehr kleinen Konzentrationen** von W. NERNST und W. ORTMANN; sie ist eine Fortsetzung (mit sehr verfeinerten Hilfsmitteln) der vor Jahresfrist vorgelegten Studie. Die Meßgenauigkeit wurde gegen früher auf etwa den fünfzehnfachen Betrag gesteigert, sowohl durch Erhöhung der Zahl der Thermoelemente wie besonders durch möglichst vollkommenen Wärmeschutz des benutzten Differentialcalorimeters. Es stellte sich nunmehr heraus, daß bei äußersten Verdünnungen, die allerdings zum Teil so weitgehend sein müssen, daß man mit praktisch ausreichender Genauigkeit einfach mit den Gasgesetzen rechnen darf, die gemessenen Verdünnungswärmen wenigstens der Größenordnung nach der Theorie von DEBYE und HÜCKEL folgen.

17. Februar (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr EINSTEIN sprach über **Kaluzas Theorie des Zusammenhanges von Gravitation und Elektrizität.** KALUZAS Gedanke, die Gravitationstheorie und Elektrizitätstheorie durch Einführung eines fünfdimensionalen Kontinuums zu einer formalen Einheit zu verschmelzen, führt ungezwungen zu derjenigen Einfügung der MAXWELLschen Theorie in das Schema der allgemeinen Relativitätstheorie, welche von Anfang an als die richtige vermutet worden war. Den Wert dieser Erkenntnis sieht EINSTEIN darin, daß man so eine rationelle Basis für die MAXWELLsche Theorie erhält.

24. Februar (G.). Vors. Sekr.: Hr. HEYMANN.

Herr HABERLANDT überreichte eine Abhandlung zur **Zytologie und Physiologie des weiblichen Gametophyten von Oenothera.** Die Embryosäcke der im Spätherbst entfalteten letzten Blüten von *Oenothera Lamarckiana* und *muricata* enthalten häufig abnorm entwickelte weibliche Gametophyten. Die Eiapparate sind mehr minder rückgebildet, die Kernzahl ist oft beträchtlich vermehrt. So neigen die Gametophyten zu rein vegetativer Ausbildung. Auch Ansätze zur Nuzellarembryonie machen sich bemerkbar. Es wird versucht, diese Erscheinungen auf die Wirksamkeit der als Reizstoffe fungierenden Stoffwechselprodukte der alternden Pflanzen zurückzuführen. In Embryosäcke mit rückgebildetem Eiapparat dringen die Pollenschläuche oft tief ein, ohne sich zu öffnen und ihren Inhalt zu entleeren. Daraus wird geschlossen, daß in normalen Embryosäcken die Synergiden Enzyme ausscheiden, die die Membran der Pollenschlauchspitzen zur Verquellung und Auflösung bringen und so die Befruchtung ermöglichen.

Herr NERNST legte eine Abhandlung von W. KOLHÖRSTER und G. v. SALIS vor **die tägliche Periode der Höhenstrahlung.** In Fortsetzung der früheren Arbeiten werden die täglichen Variationen der kosmischen Strahlung erneut durch Messungen in Davos und besonders auf Mönch und Jungfrau, schließlich auch auf Meeresniveau, festgestellt und sogar verschiedene Partien des Himmels, besonders der Milchstraße, durch geeignete Abblendung herausgeschnitten. Die Beobachtungen sprechen dafür, daß im Anfangsstadium befindliche Sterne die Träger der Strahlung sind.

3. März (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr RUBNER legte vor eine Mitteilung über **die physiologische Bedeutung des Lignins pflanzlicher Nahrungmittel.** Die übliche Anschauung, die Verdauungsmöglichkeit und der Verdauungsgrad pflanzlicher Zellmembranen im menschlichen Körper beruhe auf der Verschiedenheit im Gehalt an Lignin, besteht nicht zu Recht; vielmehr ist anzunehmen, daß Cellulosen von verschiedenem Aufbau in kolloidaler Hinsicht den Unterschied der Verdaulichkeit bedingen. Das Lignin ist aber eine Leitsubstanz, welche auf den Verdaulichkeitsgrad der Cellulose selbst hinweist. Es wird gezeigt, daß Lignin selbst bis zur Hälfte seiner Masse resorbiert werden kann.

10. März (G.). Vors. Sekr.: Hr. HEYMANN.

Herr HESSE sprach über **Temperaturregulierung beim Elefanten.** Die Ohren des Elefanten sind Werkzeuge für die Regulierung der Körpertemperatur. Ihre Schlagfrequenz nimmt zu mit steigender Außentemperatur; die Regelung der Frequenz geschieht reflektorisch.

24. März (G.). Vors. Sekr.: Hr. HEYMANN.

Herr POMPECKJ sprach über **das Leben der algonkischen und kambrischen Zeiten.** In der Geschichte des Lebens ist der große Gegensatz zwischen der ärmlichen ältesten Überlieferung algonkischer Lebewesen und der reichen kambrischen Fauna eine in den folgenden Erdzeiten niemals wiederholte Erscheinung. Ihre ungezwungenste und wahrscheinlichste Erklärung findet sie in der Verschiedenheit der Lebensräume, in denen

die beiden nahezu inkommensurablen Lebewelten existiert haben. In den algonkischen Sedimenten sind mit ganz verschwindenden Ausnahmen nur Ablagerungen aus kontinentalen Gebieten überliefert, welche durch ihre Bildungsart der Erhaltung organischer Formen in hohem Maße ungünstig waren. Im Gegensatz dazu wurde das, was von kambrischem Leben bekannt ist, in marinen Gesteinen mit verhältnismäßig sehr günstigen Fossilisationsbedingungen konserviert. Die nach der geologischen Überlieferung der algonkischen verbindungslos gegenüberstehende kambrische Lebewelt ist von Ahnenreihen abzuleiten, die mindestens bereits den größten Teil ihrer Entwicklung in Meeresräumen durchgemacht haben, welche zwischen den archäischen und algonkischen Kontinenten und außerhalb der heutigen Kontinentalmassen gelegen waren.

31. März (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr FICK sprach über die **Untersuchung und Benennung der Kugelgelenkbewegungen im allgemeinen und die Schulterbewegung im besonderen.** Die Bewegungen in den Kugelgelenken werden am besten mit Hilfe eines Meridianrahmengestells mit oberem und unterem Pol untersucht. Die Benennung der Schulterbewegungen wird am zweckmäßigsten nicht auf die Hauptebenen des Körpers, sondern auf die Schulterblattebene bezogen. Bei der neuen Untersuchung ergaben sich wiederum starke „Zwangskreiselungen".

28. April (Phys.-math. Kl.).
Vors. Sekr.: i. V. Hr. HELLMANN.

Herr v. LAUE sprach über **neuere Fortschritte der Schrödingerschen Wellenmechanik, insbesondere ihre Anwendung auf den Stoß von Elektronen gegen Atome und den Compton-Effekt.** Der Vortragende verglich u. a. die beiden Auffassungen über die Wellenfunktion ψ miteinander. Nach SCHRÖDINGERS grundlegenden Arbeiten soll das Elektron im Atomverband nicht mehr als Punktladung vorhanden sein, sondern über einen gewissen Bereich „verschmiert" sein, und zwar soll $|\psi|^2$ die elektrische Dichte bestimmen. Dann ist $\int x|\psi|^2 d\tau$ das elektrische Moment des Atoms in der x-Richtung, und man versteht, warum Matrixelemente von der Form $\int x\psi_n\psi_m d\tau$ für die Ausstrahlung maßgebend sind. Nach BORNS statistischer Auffassung hingegen bleibt das Elektron als Punktladung erhalten, und $|\psi|^2$ ist nur eine Wahrscheinlichkeitsdichte, in dem Sinn, daß zu einer bestimmten Zeit unter N gleichartigen Atomen $N|\psi(x, y, z)|^2 d\tau$ ihr Elektron in dem Raumelement haben, das den Punkt x, y, z umgibt. Dann aber sollte man, als für die Ausstrahlung maßgebend, das mittlere Quadrat des elektrischen Momentes betrachten, das nach dieser Auffassung durch $\int x^2|\psi|^2 d\tau$ gegeben ist. Das aber führt zum Widerspruch mit der Erfahrung, insbesondere mit den spektroskopischen Auswahlregeln.

19. Mai (G.). Vors. Sekr.: Hr. LÜDERS.

Herr GUTHNICK sprach über eine **Vergleichung lichtelektrischer photographischer und visueller photometrischer Beobachtungen der vier hellen Jupitersatelliten.** Die Vergleichung hat das Ergebnis, daß der Umfang des Lichtwechsels, die Form der Lichtkurven und die Phasenwirkung in erheblichem Maße von der Wellenlänge abhängen. Die Erscheinungen können in Parallele mit den in verschiedenen Spektralgebieten aufgenommenen Marsphotographien gebracht werden und machen wiederum das Vorhandensein merklicher Atmosphären wahrscheinlich. Der Hauptzug der lichtelektrischen Lichtkurven stimmt qualitativ mit dem der visuellen Lichtkurven überein.

2. Juni (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. PLANCK.

Herr LUDENDORFF sprach über **den 61 Cygni-Sternstrom.** In den Jahren 1911—12 hat B. Boss eine Liste von Sternen großer Eigenbewegung aufgestellt, von denen er vermutet, daß sie sich in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit wie 61 Cygni bewegen. RUSSELL und PLUMMER gaben Ergänzungen zu dieser Liste. Mit diesem 61 Cygni-Sternstrom haben sich dann später CORLIN und RASMUSON beschäftigt. Auf Grund der jetzt zur Verfügung stehenden Radialgeschwindigkeiten und Parallaxen der einzelnen vermeintlichen Komponenten des genannten Sternstromes wird die Sachlage von neuem untersucht. Es ergibt sich, daß weitaus die meisten Sterne der Listen von Boss, RUSSELL und PLUMMER nicht zu dem Sternstrom gehören, oder daß die Zugehörigkeit mindestens sehr zweifelhaft ist. Es bleiben schließlich nur etwa zwölf Sterne übrig, die wahrscheinlich ungefähr dieselbe Bewegung (nach Richtung und Geschwindigkeit) wie 61 Cygni besitzen.

23. Juni (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. PLANCK.

Herr JOHNSEN sprach über **farbige Mineralien.** Er entwickelte eine Hypothese über den Nachweis von Molekeln und Radikalen innerhalb röntgenometrisch ermittelter Krystallstrukturen. Ferner wurden die Ergebnisse der Bestimmung von Brechungsindizes gefärbter Diamanten im sichtbaren Spektrum mitgeteilt.

7. Juli (G.). Vors. Sekr.: Hr. LÜDERS.

Herr SCHLENK sprach über **stereochemische Ergebnisse aus dem Studium alkaliorganischer Verbindungen.** 1. Bei der Addition von Alkalimetall an solche Systeme von C, C-Doppelbindungen, welche Möglichkeit zur Bildung von cis-trans-Isomeren bieten, erfolgt die Addition des Metalls in anderer Stellung als die Addition von H-Atomen. Hydrolysiert man die betreffenden Alkaliverbindungen, so erhält man nämlich Isomere derjenigen Kohlenwasserstoffe, welche durch Hydrierung nach den gebräuchlichen Methoden gewonnen werden. 2. Aus dem Umstand, daß 1, 3, 3-Triphenylinden auf dem Weg über die Natriumverbindung ein vom bekannten 1, 3, 3-Triphenyldihydroinden verschiedenes 1, 3, 3-Triphenyldihydroinden liefert, ist zu schließen, daß im System des Indens die beiden Ringe nicht in einer Ebene liegen. Der Beweis dafür wurde durch Isolierung von optisch aktivem 1, 2-Diphenylindon erbracht. 3. Daß auch im System des Anthrazens Ringneigung besteht, ergibt sich aus der Auffindung eines 9-Phenyl-9, 10-dihydroanthrazens, welche mit dem bisher bekannten 9-Phenyl-9, 10-dihydroanthracen isomer ist. Auch beim Fluoren ist aus der Existenz gewisser Isomerer auf Ringneigung zu schließen. 4. Es konnte ein zum gelben (bekannten) 9, 10-Diphenylanthrazen isomeres farbloses 9, 10-Diphenylanthrazen dargestellt werden. Offenbar besteht Valenzisomerie in dem Sinne, daß die gelbe Form orthochinoid ist, während die farblose Form eine Mesobindung enthält.

14. Juli (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. PLANCK.

Herr KEIBEL berichtete über die **Entwicklung des Vorderdarmes beim Bachneunauge (Lampetra [Petromyzon] planeri).** Der kaudale Teil des Vorderdarmes legt sich schon bei der Larve an, KAIBEL nennt ihn daher den larvalen Teil des Vorderdarmes; der apikale Teil entsteht erst während der Metamorphose, und KEIBEL nennt ihn den imaginalen Teil des Vorderdarmes. Die Anlage dieses Teiles ist entsprechend den Kiementaschen segmentiert und entsteht aus Epithel und Mesenchym der „dorsalen Leiste" der Autoren. Eine ausführliche Darstellung ist in der Zeitschr. f. mikroskop.-anat. Forschung Bd. 8 erschienen.

21. Juli. (G.). Vors. Sekr.: Hr. PLANCK.

Herr WAGNER zeigte im Anschluß an die frühere Mitteilung vom 16. Dezember 1926 über die **Ausbreitung kurzer elektrischer Wellen rund um die Erde** oszillographische Kurven von Empfangszeichen, die von der Transradio A. G. in Geltow kürzlich aufgenommen worden sind. Beim Empfang der von dem Sender SPU in Rio de Janeiro ($\lambda = 15.66$ m) ausgesandten Zeichen sind 2 bis 3 Stunden vor Mitternacht Wiederholungen des ersten Zeichens nach 0.1375 sec und 0.275 sec beobachtet worden, entsprechend *einem und zwei vollen Umläufen* der elektrischen Welle um die Erde. Ähnliche Mehrfachzeichen sind auch von anderen Kurzwellensendern empfangen worden, z. B. von WIK in Rocky Point bei New York ($\lambda = 21.45$ m). Die verhältnismäßig geringe Schwächung der Zeichen bei vollständiger Umkreisung der Erde lehrt, daß die kurzen Wellen in der oberen Atmosphärenschicht sich als wohldefinierte Strahlen ausbreiten, die nur wenig absorbiert und zerstreut werden. Die Höhe der Schicht läßt sich zur Zeit noch nicht berechnen, da die Gruppengeschwindigkeit der Zeichen von dem Brechungsindex abhängt, über den nichts Zuverlässiges bekannt ist.

Herr HELLMANN überreichte eine Abhandlung über die **Entwicklung der meteorologischen Beobachtungen bis zum Ende des achtzehnten Jahrhunderts.** Am Ende des siebzehnten Jahrhunderts gab es instrumentelle meteorologische Beobachtungen aus fünf europäischen Ländern, nämlich aus Italien (erste Beob. Florenz 1654), Frankreich (Paris 1658), England (London 1666), Deutschland (Kiel 1679) und Holland (Leiden 1694). Am Ende des achtzehnten Jahrhunderts konnten alle europäischen Länder, mit Ausnahme der Balkanstaaten, solche Beobachtungen aufweisen. Außerhalb Europas liegen frühe Beobachtungen vor aus Afrika (1682), Asien (1698), Amerika (1730). Aus Australien fehlen sie bis zum Jahre 1800 noch ganz.

27. Oktober (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr HOFMANN sprach über die **Reaktionsfähigkeit von Chlorwasserstoff mit Metallen.** In Fortsetzung der früheren Untersuchungen (K. A. HOFMANN, Ber. d. Chem. Ges. 58, 808 und 2466. 1925), wird gefunden, daß der Umsatz von Chlorwasserstoff mit den Metallen Cadmium, Nickel, Kupfer, Silber bei 260—320° an beschränkten Oberflächen sehr stark beschleunigt wird durch die Gegenwart von Aminen. Diese binden den Chlorwasserstoff an die Oberflächen unter Bildung von Adsorbaten Metall · · · Am · · · HCl und erhöhen dadurch die Reaktionsgelegenheit des Gases (HCl) an der beschränkten Metallfläche. Durch diese Förderung wird der Einfluß, den die Verminderung der freien Energie des Chlorwasserstoffes durch die Adsorbatbildung ausübt, weitaus überwogen. Das Amin überträgt den Chlorwasserstoff auf das Metall und katalysiert so die Reaktion: $Me + 2\,HCl = MeCl_2 + H_2$ unter Verminderung der freien Energie. Bei sehr großen Oberflächen tritt diese Förderung der Chlorwasserstoff-Metall-Reaktion durch die Amine zurück, und im Gleichgewicht $Me + 2\,HCl \rightleftharpoons MeCl_2 + H_2$ liefert der Chlorwasserstoff höheren Partialdruck des Wasserstoffes als die Dämpfe der salzsauren Amine, weil im Gleichgewicht die größere freie Energie des Chlorwasserstoffes gegenüber dem im Adsorbat Me · · · Am · · · HCl gebundenen zur Geltung kommt. Die Gleichgewichtsdrucke von H_2 laufen bei den Metallen Cadmium, Blei, Nickel, Kupfer proportional den Bildungswärmen der Chlorüre.

10. November (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr BODENSTEIN berichtete über **Versuche zur Prüfung einer von ihm vorgeschlagenen Theorie der katalytischen Ammoniakverbrennung.** Die Versuche wurden mit dem Katalysator der Badischen Anilin- und Sodafabrik ausgeführt und lieferten Ergebnisse, die in jeder Hinsicht zu der Theorie stimmen.

17. November (G.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr PASCHEN sprach über die **Lichtanregung durch den metastabilen Zustand der Edelgasatome.** Hat man eine Glimmentladung in einem Edelgase wie Helium, Neon oder Argon, und fügt spärlich Fremdatome von Aluminium, Magnesium, Zink oder Cadmium durch elektrische Zerstäubung oder thermische Verdampfung hinzu, so übertragen die metastabilen Edelgasatome ihre Umwandlungsenergie auf die Fremdatome und regen deren Spektren lichtstark an. Im negativen Glimmlicht betrifft diese Anregung nicht nur neutrale Atome, sondern auch eine beträchtliche Anzahl einfach positiv geladener Ionen des Fremdkörpers. Außer dem Bogenspektrum erscheinen nämlich hier vom 1. Funkenspektrum alle Terme angeregt, die größer als T sind, wobei $T = T_0^+ - E$ ist. T_0^+ ist der tiefste Term des 1. Funkenspektrums des Fremdkörpers. E ist die Umwandlungsenergie des Edelgases. Im positiven Licht nimmt die Zahl der Fremdatome ab, welche vom Zustand des Ions aus angeregt werden, und die Zahl derjenigen zu, die vom Zustand des neutralen Atoms aus angeregt werden. Die Linien der letzteren Anregung sind hier stärker, die der ersteren schwächer als im Glimmlicht. In einem seitlichen Ansatzrohre zur positiven Lichtsäule werden in Entfernungen bis zu etwa 2 cm vom positiven Leuchten metastabile Neonatome durch Absorption der Neonlinie 6402 A° E nachgewiesen. In diesen Teilen wird der Fremdkörper, z. B. Magnesiumdampf, nur vom neutralen Atom aus angeregt. Es erscheinen nämlich hier nur solche Terme des I. Funkenspektrums angeregt, welche größer sind als T^1, wobei $T^1 = T_0' + T_0^+ - E$ ist. T_0' bedeutet den Grundterm des Bogenspektrums. Nach diesem Experiment ist es wahrscheinlich, daß die Energieübertragung an die Fremdatome auch in den leuchtenden Teilen der Glimmentladung hauptsächlich durch Stöße der metastabilen Edelgasatome erfolgt. Die Leuchterscheinungen sind bedeutend lichtstärker, und die Beziehungen sind genauer nachzuweisen als bei Versuchen mit Elektronenstoß. Die Versuche wurden auf meine Veranlassung in der Reichsanstalt von Herrn Dr. FRERICHS ausgeführt.

24. November (Phys.-math. Kl.). Vors. Sekr.: Hr. RUBNER.

Herr EINSTEIN sprach über **allgemeine Relativitätstheorie und Bewegungsgesetz.** Durch ein bis zur zweiten Approximation durchgeführtes Näherungsverfahren wird gezeigt, daß die Feldgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie das bisher hypothetisch angenommene Bewegungsgesetz punktartiger Singularitäten abzuleiten gestatten.

Berichtigung. Der Aufsatz „Beiträge zur Theorie der Kohleentstehung" von F. BERGIUS (Heft 1 ds. Jahrg.) enthält einen sinnstörenden Druckfehler in den Zahlen der Tabelle „Wasserabspaltung aus Cellulose als Temperaturfunktion" (S. 4). Die richtigen Zahlen heißen:

Wasser in % der nach der Formel erwarteten Menge	Temperatur 292°		281°		269°		257°	
	gef.	ber.	gef.	ber.	gef.	ber.	gef.	ber.
20	10	11	20	23	55	130	127	
40	21	22	49	48	112	255	259	
60	33	33	68	72	170	390	392	
80	52	53	108	114	270	—	622	
100	84	82	180	178	420	—	970	

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.